

SOLVING **THE SPECTRUM** CRUNCH

DYNAMIC SPECTRUM
MANAGEMENT SYSTEMS



Oktober, 2023



Dynamic Spectrum Alliance (DSA) adalah organisasi nirlaba, global, dan lintas-industri yang mengadvokasi undang-undang, peraturan, dan praktik terbaik di bidang ekonomi yang akan menghasilkan pemanfaatan spektrum yang lebih efisien, mendorong inovasi dan konektivitas yang terjangkau untuk semua.

Anda dipersilakan untuk mengetahui selengkapnya di www.dynamicspectrumalliance.org

Follow DSA di Twitter:
[@DynamicSpectrum](https://twitter.com/DynamicSpectrum)



Material ini didanai oleh Kantor Luar Negeri, Persemakmuran & Pembangunan - Pemerintah Inggris; namun demikian, pandangan yang dikemukakan tidak mencerminkan kebijakan resmi Pemerintah Inggris.



Penulis utama:

Michael Calabrese

Michael A. Calabrese menyelesaikan pendidikannya di Stanford Law and Business Schools (JD/MBA) dan Harvard College. Beliau memimpin Wireless Future Program di New America's Open Technology Institute, sebuah lembaga think tank nirlaba yang berbasis di Washington, D.C. dan merupakan Anggota DSA. Beliau mengembangkan dan mengadvokasi kebijakan untuk mempromosikan konektivitas broadband nirkabel yang tersedia di mana-mana, cepat dan terjangkau, termasuk realokasi spektrum utama untuk akses tak berlisensi, Wi-Fi generasi berikutnya, dan Dynamic Spectrum Sharing.

Calabrese bertugas di Spectrum Management Advisory Committee (CSMAC) Departemen Perdagangan AS sejak tahun 2009 dan pernah menjadi Pakar kelompok kerja reformasi spektrum pada Dewan Penasihat Presiden bidang Sains dan Teknologi (PCAST) di masa kepemimpinan Presiden Obama pada 2011-2012. Calabrese sebelumnya menjabat sebagai Wakil Presiden New America (2003-2010), Penasihat Umum Komite Ekonomi Gabungan Kongres AS, Direktur Kebijakan Dalam Negeri di Pusat Kebijakan Nasional, dan sebagai penasihat di AFL-CIO nasional.

Karya ini dilisensikan di bawah
Lisensi Internasional
Creative Commons Attribution 4.0

Untuk melihat salinan lisensi ini,
kunjungi
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>



DAFTAR ISI

Ringkasan Eksekutif	2
Sistem Manajemen Spektrum Dinamis: Suatu Alat untuk Manajemen Spektrum Modern.....	5
1. Pendahuluan dan Dasar-Dasar Database	5
A. Wireline ke Wireless: Koordinasi Database dalam Telekomunikasi.....	6
B. Sistem Koordinasi Frekuensi Dinamis: Dasar-Dasar.....	9
2. Sistem Koordinasi Frekuensi: Manual ke Otomatis ke Dinamis	14
A. Koordinasi Manual Berbasis Database.....	14
B. Koordinasi Semi-Otomatis dan Berbantuan Database: 70/80/90 GHz	16
C. Akses Bersama Berlisensi.....	17
D. Koordinasi Frekuensi Database yang Sepenuhnya Otomatis: TV White Space	19
E. Database Koordinasi Dinamis: Sistem Akses Spektrum CBRS	21
3. Manfaat Koordinasi Frekuensi Otomatis.....	26
A. Manfaat bagi Industri, Konsumen dan Perekonomian	26
B. Manfaat bagi Regulator: Koordinasi dan Penegakan Otomatis	30
4. Melihat ke Depan: Akses Terkoordinasi Database ke Pita Spektrum 5G	33
A. Berbagi-Pakai Tanpa Lisensi pada Pita 6 GHz (5925-7125 MHz)	33
B. Proposal untuk Koordinasi Oportunistik dan Lisensi Bersama Lokal di C-Band (3700-4200 MHz).....	39
C. Berbagi-Pakai Terkoordinasi dengan Pengguna Federal di 37-37,6 GHz (AS)	43
D. Berbagi-Pakai Terkoordinasi untuk Nirkabel Tetap di 10, 12 & 13 GHz (AS)	44
E. Berbagi-Pakai Satelit Berbantuan Database.....	45
5. Teknologi Dengan Cepat Meningkatkan Potensi Akses Spektrum Dinamis.....	46
A. Pemodelan Data GIS dan Propagasi.....	47
B. Penginderaan Spektrum dan AI.....	48
C. Incumbent Informing Capability	49
D. Layanan Nilai Tambah oleh Operator DSMS	50
E. Teknologi Blockchain.....	51
6. Kesimpulan & Rekomendasi Kebijakan	53
Ucapan Terima Kasih	54
Catatan Kaki.....	54

RINGKASAN EKSEKUTIF

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan konektivitas nirkabel, penggunaan database dan sistem manajemen spektrum otomatis untuk mengoordinasikan pembagian spektrum yang lebih intensif dan efisien menjadi alat pengaturan yang sangat penting. Para regulator di sejumlah negara telah mengesahkan sistem koordinasi spektrum yang otomatis dan dinamis (DSMS) untuk mengelola penetapan frekuensi pada pita frekuensi (*bands*) bersama dan untuk memproteksi operasi yang sedang berjalan (termasuk sistem keamanan militer dan publik) dari interferensi berbahaya.

Ofcom, yang merupakan Regulator Komunikasi Inggris, dalam Kerangka Pembagian Spektrum tahun 2016 menyatakan bahwa: “Database geolokasi memudahkan perangkat untuk mengidentifikasi spektrum yang tersedia untuk digunakan bersama sekaligus memproteksi pengoperasian layanan yang ada. . . . prinsip dasarnya tidak spesifik untuk frekuensi tertentu dan dapat diperluas ke rentang frekuensi yang lebih luas” lebih dari sekadar mendapat akses ke saluran TV White Space yang tidak digunakan. Baru-baru ini, dalam Rencana Kerja 2022/2023, Ofcom menyatakan bahwa mereka akan mempelajari “peran potensial dari database penetapan otomatis dalam memenuhi tantangan manajemen spektrum di masa mendatang”.

Di Amerika Serikat, Komisi Komunikasi Federal (FCC) mengesahkan sistem manajemen spektrum komersial untuk mengoordinasikan pembagian dalam empat pita frekuensi, tiga di antaranya telah beroperasi dengan sukses selama bertahun-tahun. Pada tahun 2018, Kongres AS mengamanatkan pengembangan Strategi Spektrum Nasional yang mencakup pemeriksaan “database yang ada atau direncanakan atau sistem akses spektrum yang dirancang untuk pembagian spektrum.”

Dan di Eropa, pada bulan Juni 2021, Kelompok Kebijakan Spektrum Radio UE mengeluarkan pendapat yang mendesak lebih banyak inovasi dan eksperimen dalam pembagian spektrum: “RSPG berupaya mendorong perubahan pola pikir: semua pertimbangan di bidang spektrum oleh pembuat kebijakan, pengelola spektrum, pengguna dan industri harus dilakukan dengan mengupayakan efisiensi spektrum yang lebih baik melalui lebih banyak pembagian spektrum, termasuk dengan mengikuti prinsip ‘use-it-or-share-it’.”

Ketergantungan pada database otomatis untuk memfasilitasi telekomunikasi yang lebih canggih dan berbiaya rendah memiliki sejarah yang panjang, mulai dari penggantian operator switchboard manual hingga database *Domain Name Service* (DNS) yang berfungsi sebagai sistem peredaran penting dari Internet itu sendiri. Kecanggihannya ini telah terbukti sangat bermanfaat dalam mendorong komunikasi yang universal dan terjangkau, hingga saat ini sudah dianggap sebagai hal yang biasa. Meskipun penggunaan database sebagai alat untuk manajemen spektrum merupakan perkembangan yang lebih baru, penggunaan database sebagai sarana untuk mencapai akses terhadap kapasitas komunikasi berskala besar, berbiaya rendah, dan hampir *real-time* terbukti tidak kalah menarik, yang jika tidak digunakan akan menjadi tidak terpakai.

Penggunaan database untuk mengoordinasikan penetapan spektrum telah berkembang, namun bukan merupakan hal yang baru. Langkah-langkah dasarnya sama persis dengan proses koordinasi manual. Yang baru adalah perangkat yang lebih *agile* dalam frekuensi dan peningkatan daya komputasi yang diperlukan untuk menjalankan analisis propagasi tingkat lanjut secara efisien dan algoritma yang mengoordinasikan perangkat dan pengguna hampir secara *real-time*.

Tidak diragukan lagi bahwa saat ini kita telah memiliki kemampuan teknis untuk mengotomatisasi koordinasi frekuensi dan dengan demikian menurunkan biaya transaksi, menggunakan spektrum secara lebih efisien, mempercepat waktu ke pasar, memproteksi para incumbent dari interferensi secara lebih pasti, dan memperluas pasokan konektivitas nirkabel secara umum yang dengan cepat menjadi, seperti halnya listrik, input penting bagi sebagian besar industri dan kegiatan ekonomi lainnya.

Meskipun koordinasi database spektrum bukanlah hal yang baru, dalam beberapa tahun terakhir koordinasi ini telah berkembang dari manual, menjadi otomatis, dan kemudian menjadi dinamis – dengan menerapkan otomatisasi dan pemodelan propagasi pada data perizinan statis. Evolusi ini telah berkembang dari koordinasi manual dan berbasis database pada jaringan tetap dan stasiun satelit bumi; menjadi koordinasi sambungan point-to-point yang dibantu database secara semi-otomatis (misalnya, pada pita 70/80/90 GHz); menjadi koordinasi frekuensi yang sepenuhnya otomatis

untuk berbagi saluran kosong (TV White Space); dan kemudian menjadi koordinasi dinamis dari hierarki pembagian tiga tingkat berdasarkan database Sistem Akses Spektrum di seluruh pita 3550-3700 MHz dengan radar Angkatan Laut AS (CBRS: *Citizens Broadband Radio Service*).

Baru-baru ini, regulator telah mulai mengesahkan sistem Koordinasi Frekuensi Otomatis (AFC) yang memungkinkan pengoperasian Jaringan Area Lokal Radio (RLAN) generasi berikutnya yang menggunakan Wi-Fi 6E dengan daya standar, baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan, di sebagian besar pita 6 GHz. Pada tahun 2023, Amerika Serikat dan Kanada diharapkan akan menyetujui penggunaan beberapa sistem AFC secara komersial untuk mengelola penggunaan Wi-Fi 6E – di luar ruangan dan berdaya standar (hingga 4-watt EIRP) – pada 850 MHz (900 MHz di Kanada) secara bersama dengan lebih dari 50.000 sambungan gelombang mikro tetap berdaya tinggi. Pengesahan serupa masih menunggu keputusan di Brasil, Korea Selatan, dan Arab Saudi. Pada bulan Juni 2022, regulator UE menyetujui item pekerjaan untuk mempelajari kelayakan pengoperasian RLAN berdaya lebih tinggi (hingga 4W EIRP) pada pita 6 GHz yang lebih rendah dengan memanfaatkan “fungsi koordinasi akses spektrum dinamis” yang diharapkan dapat memberikan kemampuan yang serupa dengan sistem AFC yang disertifikasi di AS dan Kanada.

Sistem koordinasi spektrum telah menunjukkan kemampuannya untuk memfasilitasi rezim berbagi pakai yang berlisensi, tidak berlisensi, dan berlisensi ringan. Regulator kini memiliki model, teknologi, dan penyedia komersial yang diperlukan untuk mengesahkan sistem koordinasi otomatis yang paling sesuai dengan tujuan kebijakan NRA, yang akan bervariasi tergantung pada sifat layanan yang ada, karakteristik propagasi dan ukuran pita, sifat penggunaan akses bersama, dan faktor lainnya.

Sistem Manajemen Spektrum Dinamis (DSMS) dikenal dengan nama berbeda pada pita frekuensi berbeda. Sistem tersebut dapat lebih atau kurang dinamis sehubungan dengan input. Namun, langkah-langkah dasarnya sama dan hasilnya ditentukan oleh peraturan dan kerangka kerja yang diadopsi oleh masing-masing Otoritas Peraturan Nasional (NRA). DSMS memfasilitasi pembagian spektrum dengan menjalankan setidaknya fungsi-fungsi inti berikut:

- Memproteksi pemegang lisensi atau pengguna lain dari interferensi yang disebabkan oleh pendatang dengan prioritas lebih rendah (dan, dalam beberapa kasus, mengkoordinasikan di antara pengguna dengan prioritas yang sama).

- Memberikan keputusan otoritatif, dan pada beberapa pita, hampir secara real-time terkait permintaan untuk mentransmisikan atau menetapkan hak penggunaan.
- Menerapkan penggunaan perangkat resmi.
- Memantau penetapan spektrum dan, dalam beberapa kasus, penggunaan aktual.

Elemen dasar dan langkah-langkah berurutan dari sistem koordinasi frekuensi otomatis meliputi input informasi dan fungsi inti berikut:

- Peraturan dan panduan kebijakan, termasuk zona pengecualian dan ketentuan penggunaan, yang diundangkan oleh regulator (NRA);
- Informasi incumbent, terutama dari database perizinan;
- Daftar pengguna dan perangkat akses bersama yang memenuhi syarat, termasuk informasi tentang geolokasi, parameter pengoperasian, dan verifikasi sertifikasi perangkat;
- Input statis dan dinamis pada lingkungan spektrum, yang dapat mencakup data GIS (seperti medan dan clutter) dan data penginderaan;
- Analisis dampak emisi terhadap interferensi, penerapan model propagasi dan interferensi terhadap data yang tersedia mengenai pengguna dan lingkungan;
- Algoritma Koordinasi dan Proteksi yang mengkonversikan peraturan, input lingkungan, dan analisis interferensi menjadi jawaban objektif atas permintaan transmisi;
- Antarmuka komunikasi yang memungkinkan pengguna akses bersama untuk secara langsung dan teratur memperbarui perizinan, berbagi informasi, dan menerima perubahan selanjutnya pada otorisasi mereka.

Penggunaan DSMS memberikan manfaat yang besar bagi industri, regulator, dan konsumen. Dibandingkan dengan koordinasi manual atau bahkan dengan bantuan database, koordinasi frekuensi otomatis:

- memperluas dan mempercepat akses ke spektrum yang tidak terpakai, memungkinkan penggunaan sumber daya secara lebih intensif,
- memproteksi pemegang lisensi incumbent dengan lebih baik,
- menurunkan biaya akses untuk operator dan biaya regulasi untuk NRA,
- memproteksi para incumbent dengan lebih pasti dan memastikan hasil yang konsisten,
- memperhitungkan perubahan penggunaan pita dengan cepat atau bahkan perubahan dalam peraturan NRA.

Teknologi DSMS juga dapat dimanfaatkan untuk memberikan kemampuan tambahan yang meliputi:

- memantau dan mengumpulkan data tentang penggunaan pita (band) yang sebenarnya;
- optimasi koeksistensi, yang membantu perangkat meminimalkan interferensi dua arah/timbal balik (relevan apabila pengguna sekunder tidak memiliki proteksi interferensi);
- bantuan pelaksanaan (termasuk kemampuan untuk mengidentifikasi dan mematikan perangkat yang salah);
- memfasilitasi transaksi pasar sekunder;
- memungut biaya penggunaan atau biaya regulasi apa pun yang diizinkan atau diwajibkan oleh NRA;
- menyediakan portal bagi para incumbent dan/atau pengguna untuk melaporkan koreksi atau pembaruan data perizinan, parameter operasi, atau untuk melaporkan insiden interferensi.

Ke depan, meningkatnya permintaan konsumen akan aplikasi padat data pada perangkat pengguna, ditambah dengan potensi manfaat jaringan 5G dan IoT, memotivasi para regulator untuk mempertimbangkan bagaimana DSMS dapat membuka kapasitas yang tidak terpakai pada pita-pita yang terisi namun kurang termanfaatkan. Laporan ini menyoroti beberapa pita (band) yang sedang dipertimbangkan untuk berbagi, yang dikelola oleh DSMS, serta potensi berbagi dengan bantuan database pada pita-pita satelit, seperti di antara konstelasi satelit non-geostasioner (NGSO).

6 GHz untuk Penggunaan Bebas Lisensi dengan Daya Standar: Seperti yang telah diuraikan di atas, Amerika Serikat dan Kanada mengupayakan pengesahan beberapa sistem koordinasi frekuensi otomatis (AFC) selama tahun 2023 untuk mengelola RLAN bebas lisensi yang beroperasi pada daya standar (SP) baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan pada setidaknya 850 MHz antara 5925 dan 7125 MHz. AFC akan memastikan bahwa penggunaan daya standar dan di luar ruangan akan menghindari interferensi yang berbahaya terhadap puluhan ribu sambungan gelombang mikro point-to-point dan incumbent lain dalam pita tersebut. Saat artikel ini dibuat, adopsi peraturan yang akan mengizinkan pengoperasian SP di bawah kendali AFC masih dalam proses di Brasil, Korea Selatan, dan Arab Saudi. Komisi Eropa telah menugaskan kelompok kerja untuk mempelajari kelayakan penambahan otorisasi bagi RLAN untuk beroperasi pada SP di bawah pita 6 GHz (5925-6425 MHz), di mana hanya daya yang sangat rendah dan penggunaan dalam ruangan yang saat ini diizinkan.

3,8-4,2 GHz untuk lisensi bersama lokal: Inggris dan beberapa negara Uni Eropa termasuk di antara sekian banyak NRA yang mengadopsi inisiatif lisensi bersama lokal yang mengoordinasikan akses ke spektrum yang tidak terpakai, yang paling umum adalah pada C-Band 3,8 – 4,2 GHz. Di Inggris, kerangka Ofcom untuk Lisensi Akses Bersama (SAL) memungkinkan jaringan seluler dan jaringan nirkabel (point-to-multipoint) untuk mengoordinasikan penggunaan bersama saluran-saluran kosong dengan basis co-primary dengan stasiun bumi FSS incumbent dan pemegang lisensi point-to-point. Meskipun lisensi untuk area kecil (radius 50 meter) dan lisensi stasiun pemancar berdaya sedang (hanya di area pedesaan) – lebih dari 1.600 pada akhir tahun 2022 – dikoordinasikan secara manual, Ofcom sedang menjajaki cara untuk mengotomatisasi proses perizinan SAL.

Di Amerika Serikat, FCC sedang mempertimbangkan otorisasi sistem DSM tambahan untuk memfasilitasi akses bersama oleh pendatang yang tidak berlisensi, berlisensi, dan berlisensi ringan di pita yang kurang termanfaatkan, termasuk:

37-37,6 GHz dan 42-42,5 GHz: Pita 37 GHz yang lebih rendah telah dialokasikan untuk penggunaan bersama yang terkoordinasi atas dasar co-primary oleh pengguna komersial dan pemerintah federal. Pada Mei 2023, FCC mengusulkan untuk mengesahkan penggunaan bersama secara lokal dan terkoordinasi dari pita 42 GHz yang saat ini tidak digunakan untuk broadband terestrial, mungkin berdasarkan aturan akses bersama yang sama dengan pita 37 GHz yang lebih rendah. Peraturan pembagian yang tepat serta peran sistem manajemen spektrum untuk mengoordinasikan lisensi akses bersama masih dalam pertimbangan.

10 GHz, 12,2-12,7 GHz, 12,7-13,25 GHz: FCC juga mempertimbangkan penggunaan DSMS untuk memfasilitasi koordinasi pembagian spektrum pita menengah-atas yang kurang termanfaatkan secara lebih intensif untuk penggunaan broadband *fixed* point-to-point (PtP) dan point-to-multipoint (PtMP). Proses masih tertunda pada dua pita yang berdekatan yang bersama-sama terdiri dari lebih dari 1000 MHz (dari 12,2 hingga 13,25 GHz), serta proposal dari penyedia broadband pedesaan untuk pembagian spektrum radar militer 500 MHz secara terkoordinasi pada pita 10-10,5 GHz.

Terakhir, laporan ini mengulas sejumlah kemajuan teknologi yang dapat semakin memperkuat manfaat DSMS. Diantaranya data GIS dunia nyata yang lebih rinci (misalnya, medan, clutter, ketinggian dan material bangunan); data okupansi spektrum secara *real-time*; kecanggihan pemodelan propagasi dan interferensi yang terus meningkat; layanan database berbasis cloud yang bernilai tambah; dan potensi untuk menggabungkan teknologi AI dan blockchain yang lebih maju.

MENGATASI SPECTRUM CRUNCH: Sistem Manajemen Spektrum Dinamis

1. PENDAHULUAN DAN DASAR-DASAR DATABASE

Seperti yang diuraikan dalam bagian ini, meskipun koordinasi database spektrum bukan merupakan hal baru, namun baru-baru ini telah berkembang dari manual, menjadi otomatis, dan kemudian menjadi dinamis – menambahkan otomatisasi dan pemodelan propagasi pada data perizinan statis. Perkembangan inovasi regulasi dalam pembagian frekuensi dengan bantuan database – termasuk untuk sambungan tetap berlisensi, Wi-Fi tidak berlisensi, dan seluler/LTE – dijelaskan dalam Bagian 2 di bawah. Evolusi teknis dari koordinasi frekuensi manual ke dinamis ini menghasilkan manfaat yang besar dan nyata bagi regulator, pemangku kepentingan industri, dan pengguna akhir, sebagaimana diuraikan dalam Bagian 3 di bawah. Seiring dengan semakin dikenalnya manfaat-manfaat ini – dan seiring dengan semakin mendesaknya permintaan akan kapasitas spektrum – pita-pita tambahan (termasuk 6 GHz dan 3,8-4,2 GHz) muncul sebagai kandidat untuk penggunaan bersama melalui koordinasi frekuensi otomatis, sebagaimana diuraikan dalam Bagian 4 di bawah. Bagian 5 mengulas beberapa teknologi baru yang menjanjikan untuk membuat DSMS lebih efisien dan hemat biaya di masa mendatang.

Meningkatnya Dukungan Global untuk Dynamic Spectrum Sharing

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan konektivitas nirkabel, penggunaan database untuk mengoordinasikan pembagian spektrum yang lebih intensif dan efisien telah muncul sebagai alat pengaturan yang penting. Regulator dan legislator di sejumlah negara telah mengesahkan database koordinasi frekuensi otomatis dan bahkan dinamis untuk mengelola penetapan pada pita bersama secara *real-time* dan untuk memproteksi operasi yang sedang berjalan (termasuk sistem keamanan militer dan publik) dari interferensi berbahaya.

Di Amerika Serikat, Komisi Komunikasi Federal (FCC) terus mengembangkan pengalaman dan kepercayaan diri dalam koordinasi frekuensi otomatis, yang pertama kali disahkan pada tahun 2010 untuk mengelola akses oportunistik dan tidak berlisensi ke saluran kosong (TV White Spaces). Pada tahun 2015, FCC memberi wewenang kepada Citizens Broadband

Radio Service (CBRS) yang mengandalkan Sistem Akses Spektrum (SAS) otomatis untuk mengoordinasikan pembagian komersial spektrum 150 MHz pita menengah utama dengan militer AS dan para incumbent layanan satelit. Dan pada pertengahan tahun 2023, FCC diharapkan akan menyetujui penggunaan beberapa sistem Automated Frequency Coordination (AFC) secara komersial untuk mengelola penggunaan Wi-Fi 6E – di luar ruangan dan berdaya standar (hingga 4-Watt EIRP) – pada 850 MHz dari pita 6 GHz secara bersama dengan lebih dari 50.000 sambungan gelombang mikro tetap berdaya tinggi. Kongres AS mendukung tren ini, termasuk dalam undang-undang tahun 2018 yang mengamanatkan pengembangan “rencana nasional untuk menyediakan... pita tambahan untuk operasi yang tidak berlisensi atau berlisensi berdasarkan aturan,” termasuk pemeriksaan “database yang ada atau direncanakan atau sistem akses spektrum yang dirancang untuk pembagian spektrum.”¹

Uni Eropa, yang telah menyetujui pengoperasian RLAN tidak berlisensi dan berdaya rendah dan hanya di dalam ruangan (yaitu Wi-Fi 6E) pada pita 5925-6425 GHz, kini sedang mempelajari mekanisme untuk mengelola operasi dengan daya lebih tinggi (hingga 4-Watt EIRP) baik di dalam maupun di luar ruangan. Regulator UE (CEPT) telah menugaskan kelompok kerja di Komite Komunikasi Elektronik (WG ES45) untuk “mempelajari kelayakan penerapan fungsi koordinasi akses spektrum dinamis yang dimana WAS/RLAN hingga 4W dapat beroperasi, sambil memastikan proteksi terhadap layanan incumbent (termasuk kemungkinan penyebarannya di masa mendatang) pada pita frekuensi 5945-6425 MHz dan pita-pita yang berdekatan.”² Kelompok kerja ini telah menugaskan ETSI untuk mempelajari “manajemen database. . . termasuk pertanyaan mengenai implementasi, peraturan dan kondisi teknis dari database tersebut.”³

Secara lebih luas, pada bulan Juni 2021, Kelompok Kebijakan Spektrum Radio UE mengeluarkan pendapat yang mendesak lebih banyak inovasi dan eksperimen dalam pembagian spektrum: “RSPG berupaya mendorong perubahan pola pikir: semua pertimbangan di bidang spektrum oleh pembuat kebijakan, pengelola spektrum, pengguna dan industri harus dilakukan dengan mengupayakan efisiensi spektrum yang lebih baik melalui lebih banyak

pembagian spektrum, termasuk dengan mengikuti prinsip ‘use-it-or-share-it’.”⁴

Ofcom, regulator komunikasi Inggris, merupakan pengadopsi awal koordinasi database TV White Space dan juga mempertimbangkan koordinasi frekuensi otomatis pada 6 GHz, serta 3,8-4,2 GHz dan pita lainnya untuk program lisensi bersama lokal yang inovatif. Ofcom, dalam Kerangka Pembagian Spektrum tahun 2016 menyatakan bahwa: “Database geolokasi memudahkan perangkat untuk mengidentifikasi spektrum yang tersedia untuk digunakan bersama sekaligus memproteksi pengoperasian layanan yang ada. . . . prinsip dasarnya tidak spesifik untuk frekuensi tertentu dan dapat diperluas ke rentang frekuensi yang lebih luas” lebih dari sekadar mendapat akses ke saluran TV White Space yang tidak digunakan.⁵ Baru-baru ini, dalam Rencana Kerja 2022/2023, Ofcom menyatakan bahwa mereka akan mempelajari “peran potensial dari database penetapan otomatis dalam memenuhi tantangan manajemen spektrum di masa mendatang.”⁶

Selain mengoordinasikan penetapan frekuensi dan penghindaran interferensi, teknologi DSMS menawarkan potensi fungsionalitas dan efisiensi tambahan yang jauh melampaui apa yang dapat ditawarkan oleh koordinasi manual atau dengan bantuan database. Efisiensi yang jauh lebih besar juga dimungkinkan karena data yang lebih granular dan nyata (medan, clutter, pemetaan tiga dimensi, dll.) dimasukkan ke dalam algoritma yang diandalkan oleh DSMS untuk mengabulkan, menolak, atau mengubah permintaan akses spektrum bersama secara *real-time* sambil tetap memproteksi para incumbent dengan hak-hak prioritas. Sejumlah teknologi baru ini – termasuk data GIS, penginderaan spektrum dan pemantauan, serta aplikasi database AI dan blockchain – diulas pada Bagian 5.

A. Wireline ke Wireless: Koordinasi Database dalam Telekomunikasi

Tidak diragukan lagi bahwa saat ini kita telah memiliki kemampuan teknis untuk mengotomatisasi koordinasi frekuensi dan dengan demikian menurunkan biaya transaksi, menggunakan spektrum secara lebih efisien, mempercepat waktu ke pasar, memproteksi para incumbent dari interferensi secara lebih pasti, dan memperluas pasokan konektivitas nirkabel secara umum yang dengan cepat menjadi, seperti halnya listrik, input penting bagi setiap industri lainnya.

Terlepas dari manfaat yang dimilikinya, koordinasi database untuk akses spektrum bersama juga menerima skeptisisme dan bahkan penolakan dari pemegang lisensi yang terbiasa menggunakan spektrum secara eksklusif. Seperti yang dilaporkan Ofcom dalam Laporan tahun 2016: “Responden konsultasi memandang database geolokasi sebagai faktor pendukung yang menjanjikan, dan kami didesak untuk memperluas penggunaan teknologi geolokasi ke pita di luar UHF. . . . Namun, beberapa pihak menyampaikan kekhawatiran mereka terkait keandalan database, keakuratan informasi lokasi, dan kemampuan pengguna untuk melewati parameter yang ditetapkan oleh database saat perangkat dikonfigurasi secara manual.”⁷

Meskipun pengguna pita frekuensi yang kurang termanfaatkan biasanya menganggap pengelolaan spektrum dinamis sebagai sebuah lompatan yang berisiko, ketergantungan pada database otomatis untuk memfasilitasi telekomunikasi yang lebih canggih dan berbiaya rendah memiliki sejarah yang panjang, mulai dari penggantian operator switchboard manual dengan jaringan terkait panggilan SS7 yang mengandalkan database otomatis, ke sistem database porting nomor otomatis, hingga database *Domain Name Service* (DNS) yang berfungsi sebagai sistem peredaran penting dari Internet itu sendiri. Kecanggihannya ini telah terbukti sangat bermanfaat dalam mendorong komunikasi yang universal dan terjangkau, hingga saat ini sudah dianggap sebagai hal yang biasa.

Demikian pula, penggunaan database untuk mengoordinasikan penetapan spektrum telah berkembang, namun bukan merupakan hal yang baru. Langkah-langkah dasarnya sama persis dengan proses koordinasi manual. Yang baru adalah melonjaknya permintaan konsumen akan konektivitas nirkabel dan oleh karena itu, terdapat kebutuhan untuk berbagi pita frekuensi yang kurang termanfaatkan secara intensif. Di sisi teknis, kemajuan dalam daya komputasi dan solusi berbasis cloud telah sangat meningkatkan kecepatan koordinasi, begitu pula dengan database geografis yang sangat terperinci yang dikombinasikan dengan model propagasi yang peka terhadap clutter, serta pemancar dan penerima yang mampu menerima informasi dari database secara dinamis. Setelah diotomatisasi, database koordinasi frekuensi juga dapat menjadi platform untuk layanan bernilai tambah, seperti manajemen sumber daya radio (RRM) dan layanan jaminan yang lebih dari sekadar otorisasi tautan atau kontrol penerimaan.

i. Ketergantungan Lama pada Database Otomatis untuk Telekomunikasi Wireline

Sistem telekomunikasi wireline (menggunakan kabel) adalah penerima manfaat awal dari koordinasi database otomatis. Dahulu kala, operator switchboard manual membuka dan menutup saluran telepon secara manual, seperti terlihat pada gambar di bawah. Selama satu abad, pendekatan ini berevolusi menjadi switch otomatis dan, pada akhir tahun 1980-an, menjadi database otomatis yang dapat secara instan membedakan perlakuan terhadap berbagai panggilan yang berdasarkan pada nomor dan algoritma yang sudah ditetapkan. Kemajuan ini mencapai puncaknya pada arsitektur Signaling System 7 (SS7), yang menggunakan database otomatis untuk mendukung inisiasi panggilan, routing, penagihan, dan berbagai fungsi pertukaran informasi yang dapat dioperasikan, termasuk penerusan panggilan dan roaming nirkabel, di seluruh jaringan telepon tetap (PSTN). ITU merekomendasikan SS7 sebagai standar internasional pada tahun 1988 dan dengan cepat diadopsi oleh operator besar di seluruh dunia.⁸

SS7 merupakan satu dari sejumlah jaringan database otomatis yang berevolusi untuk mendukung konektivitas telepon yang efisien, berbiaya rendah, dan saling terhubung di seluruh dunia.⁹



Gambar 1: Operator switchboard manual (sekitar tahun 1877) seiring berjalannya waktu digantikan oleh database routing panggilan otomatis yang menjadi ciri khas jaringan persinyalan SS7 yang diadopsi ITU sebagai standar internasional pada tahun 1988.

Di antara yang paling canggih saat ini adalah database Portabilitas Nomor Lokal (LNP) yang, di Amerika Serikat, telah dioperasikan oleh kontraktor pihak ketiga yang disetujui oleh FCC sejak tahun 1997 dan diawasi oleh komite yang terdiri dari para penyedia layanan telekomunikasi utama. Sistem porting nomor di Inggris, yang juga dimulai pada tahun 1997, juga serupa.¹⁰

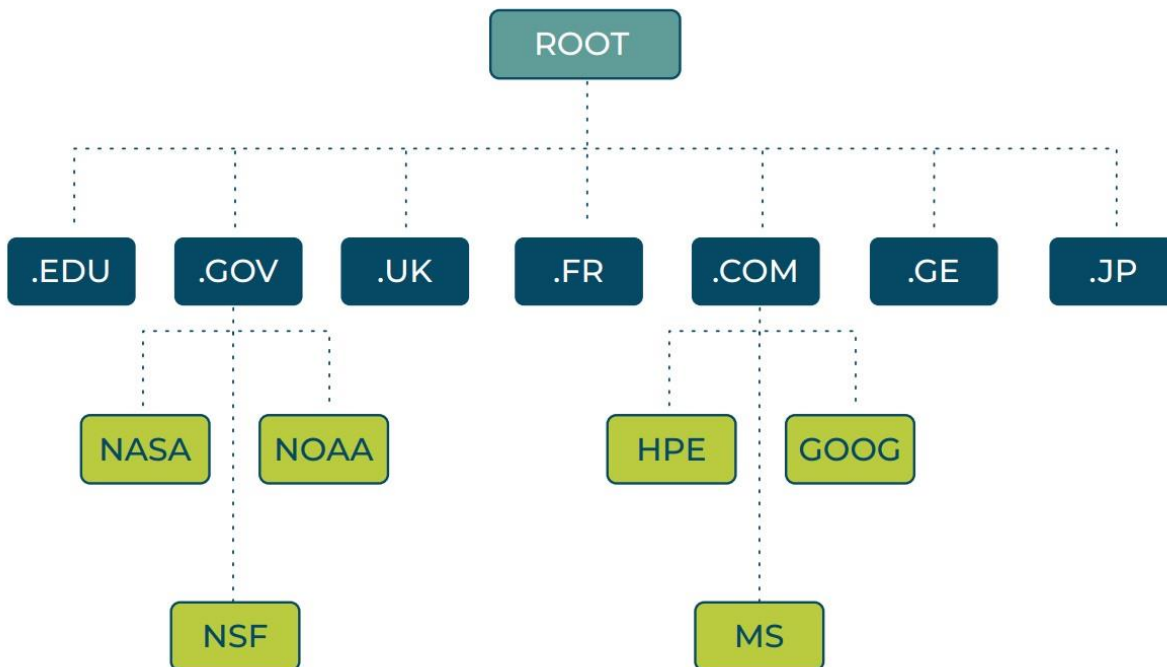


Gambar 2: Portabilitas nomor telepon dan penerusan panggilan bergantung pada sistem database otomatis yang diperkenalkan di AS dan Inggris pada tahun 1997.¹¹

Komunikasi seluler mengandalkan koordinasi database yang otomatis dan saling terhubung sejak awal layanan suara dan data seluler digital. GSM (Global System for Mobile Communication), standar yang dikembangkan oleh European Telecommunications Standards Institute (ETSI), menetapkan protokol untuk jaringan seluler digital generasi kedua. Standar umum dan database yang saling terhubung memungkinkan pelanggan dari berbagai operator untuk menjelajah ke jaringan GSM lain, termasuk lintas negara dan pada akhirnya, ke seluruh dunia. Pada jaringan GSM, fungsi routing dan roaming dari panggilan dan pengiriman pesan dikelola oleh pusat switching seluler, yang pada gilirannya bergantung pada interaksi otomatis dari dua database utama: *home location register* (HLR) dan *visitor location register* (VLR). HLR menyimpan rincian setiap kartu SIM yang dikeluarkan oleh operator seluler, sedangkan VLR adalah database

informasi yang memungkinkan operator untuk menghubungkan perangkat yang mencoba menjelajah ke jaringannya.¹²

Kemajuan terkini dalam evolusi koordinasi database otomatis adalah *Domain Name Service* (DNS). DNS adalah database yang menghubungkan nama domain ke alamat IP. Secara lebih spesifik, DNS adalah database terdistribusi, yang terdiri dari server DNS yang secara kolektif melacak nama dan alamat IP yang sesuai dari berbagai domain dan host di internet. Tidak ada satu pun server DNS yang mengelola seluruh database; masing-masing memberikan informasi otoritatif untuk domain yang dikelolanya, atau mendelegasikannya ke server lain yang berada di bawah hierarki untuk domain yang tidak dikelolanya. Hal ini memungkinkan kendali lokal atas segmen database secara keseluruhan sambil tetap memfasilitasi interkoneksi cepat di seluruh Internet melalui hierarki yang mirip dengan hierarki routing IP.



Gambar 3: Domain Name Service (DNS) Internet adalah suatu proses database terdistribusi yang menghubungkan nama domain ke alamat IP untuk memfasilitasi routing lalu lintas Internet.¹³

ii. Penggunaan Database untuk Membantu Koordinasi Pita Spektrum Bersama

Meskipun penggunaan database sebagai alat untuk manajemen spektrum merupakan perkembangan yang lebih baru, penggunaan database sebagai sarana untuk mencapai akses terhadap kapasitas komunikasi berskala besar, berbiaya rendah, dan hampir *real-time* terbukti tidak kalah menarik, yang jika tidak digunakan akan menjadi tidak terpakai. Meskipun lelang kini banyak digunakan untuk memberikan lisensi penggunaan eksklusif pada wilayah geografis yang sangat luas untuk jaringan seluler (IMT), sebagian besar spektrum dibagikan di antara para pengguna secara koeksistensi dan menggunakan pita secara lebih efisien melalui proses koordinasi yang kooperatif. Pada beberapa pita (band), database memfasilitasi koordinasi di antara pemegang lisensi dengan jenis yang sama, sementara pada pita lainnya, koordinasi dilakukan di antara pengguna berbasis wilayah yang memiliki lisensi untuk layanan berbeda.

Sambungan point-to-point (PtP) terestrial dan layanan satelit tetap (baik stasiun bumi FSS maupun satelit GSO yang memancarkannya) merupakan contoh utama. Selama beberapa dekade, sebagian besar koordinasi dan persetujuan lisensi untuk lisensi tetap berbasis lokasi (seperti stasiun bumi FSS dan sambungan PtP terestrial) bergantung pada proses koordinasi manual yang diinformasikan oleh database lisensi dari regulator nasional. Contoh utama adalah model koordinasi yang digunakan sejak tahun 1996 di Amerika Serikat untuk mengkoordinasikan hubungan gelombang mikro point-to-point pada pita FSS. Saat ini koordinasi ini dibantu oleh database, sebagaimana dijelaskan lebih lanjut di bagian selanjutnya, namun koordinasi ini tidak bersifat otomatis, dinamis, atau berbiaya rendah jika tujuannya adalah untuk menggunakan pita-pita bersama ini secara lebih intensif dan efisien, yang beberapa diantaranya masih kurang termanfaatkan.

Pada hampir setiap kasus, database koordinasi frekuensi memfasilitasi pembagian spektrum dengan menjalankan setidaknya fungsi-fungsi inti berikut:

- Memproteksi pemegang lisensi atau pengguna lain dari interferensi yang disebabkan oleh pendatang dengan prioritas lebih rendah (dan, dalam beberapa kasus, mengkoordinasikan di antara pengguna dengan prioritas yang sama);
- Memberikan keputusan otoritatif, dan pada beberapa pita, hampir secara real-time terkait

permintaan untuk mentransmisikan atau menetapkan hak penggunaan.

- Menerapkan penggunaan perangkat resmi;
- Memantau penetapan spektrum dan, dalam beberapa kasus, penggunaan aktual.

Langkah selanjutnya dalam evolusi koordinasi spektrum adalah mengotomatisasi sepenuhnya proses koordinasi spektrum. Sebagaimana diuraikan pada bagian selanjutnya, dalam sistem koordinasi frekuensi otomatis apa pun, langkah dasarnya adalah sama dan hasilnya ditentukan oleh aturan yang diadopsi oleh masing-masing Otoritas Pengatur Nasional (NRA). Namun, dibandingkan dengan koordinasi manual atau bahkan dengan bantuan database, koordinasi frekuensi otomatis mempercepat akses terhadap spektrum, menurunkan biaya, mendorong penggunaan yang lebih intensif, memproteksi pemegang lisensi dengan lebih baik, memastikan hasil yang konsisten, dan memperhitungkan dengan cepat perubahan penggunaan pita atau bahkan perubahan dalam dalam peraturan NRA.

Selain itu, koordinasi database menciptakan peluang untuk mencapai penggunaan pita yang lebih intensif dan efisien dengan menggabungkan data GIS yang terperinci (seperti, medan dan clutter) dan bahkan data dinamis (seperti, penginderaan spektrum) yang mencerminkan lingkungan spektrum nyata pada basis yang sangat terlokalisasi dan dengan demikian mendukung pemodelan propagasi dan interferensi yang jauh lebih canggih. Dengan semakin banyaknya negara yang mengadopsi teknik database, operator yang melayani beberapa NRA yang berdampingan juga dapat mengkoordinasikan aturan-aturan yang bertentangan, mengubah apa yang biasanya disebut “DMZ” radio menjadi penggunaan yang produktif.

B. Sistem Koordinasi Frekuensi Dinamis: Dasar-Dasar

Database koordinasi spektrum telah menunjukkan kemampuannya untuk memfasilitasi berbagai kerangka peraturan, termasuk rezim berbagi pakai yang berlisensi, tidak berlisensi, dan berlisensi ringan. Regulator kini memiliki model, teknologi, dan penyedia komersial yang memungkinkan mereka membuat atau mengesahkan DSMS yang paling sesuai dengan tujuan kebijakan NRA. Kerangka DSMS akan bervariasi tergantung pada sifat layanan yang ada, karakteristik propagasi dan ukuran pita, sifat penggunaan akses bersama, dan faktor lainnya. Dalam semua kasus, izin yang diberikan oleh DSMS setara dengan otorisasi (atau lisensi) yang terikat waktu untuk melakukan transmisi.

Pada umumnya, kerangka akses bersama yang dimungkinkan oleh sistem koordinasi frekuensi otomatis yang diadopsi oleh satu atau lebih NRA, dan diprofilkan dalam laporan ini, saat ini mencakup:

- **Pembagian yang terkoordinasi dan berlisensi:** Contohnya mencakup koordinasi sambungan tetap tradisional pada frekuensi 70/80/90 GHz dan peraturan FCC saat ini mengenai potensi pembagian database yang terkoordinasi melalui penerapan point-to-multipoint pada pita 12 GHz, 37-37,6 GHz, dan 42 GHz.
- **Penggunaan spektrum yang tidak terpakai secara oportunistik dan tidak berlisensi berdasarkan frekuensi dan lokasi:** Contohnya termasuk database TV White Space (yang memungkinkan penggunaan saluran kosong TV lokal) dan sistem AFC yang akan segera mengelola penggunaan RLAN di luar ruangan dan berdaya standar di sebagian besar pita 6 GHz di AS, Kanada, dan negara lain.
- **Akses Bersama Berlisensi Dua Lapis berdasarkan wilayah geografis dan bantuan database:** Lebih dari dua belas NRA Eropa dan NRA lainnya menerapkan pembagian oportunistik melalui koordinasi lisensi akses bersama lokal, dengan fokus utama pada C-Band 3,8-4,2 GHz yang digunakan (tetapi kurang dimanfaatkan) oleh stasiun satelit bumi. Penggunaan koordinasi otomatis di masa mendatang sedang dipertimbangkan dalam beberapa kasus, sebagian bergantung pada penggunaannya.
- **Akses bersama tiga lapis, menggabungkan penggunaan berlisensi dan oportunistik:** Di Amerika Serikat, CBRS dikelola oleh SAS dinamis yang mengatur pembagian spektrum radar Angkatan Laut AS pada 3550-3700 MHz oleh sektor swasta untuk mengakomodasi gabungan penggunaan berlisensi dan berlisensi ringan. Di Inggris, TV White Space dikelola secara berjenjang melalui database geolokasi dinamis, pembagian spektrum siaran (primer) dengan mikrofon nirkabel (sekunder) dan pembagian oportunistik tanpa lisensi untuk perangkat TVWS (tersier).

Elemen dasar dan langkah-langkah berurutan dari sistem koordinasi frekuensi otomatis meliputi input informasi dan fungsi inti berikut:

- Peraturan dan panduan kebijakan, termasuk zona pengecualian dan ketentuan penggunaan, yang diundangkan oleh regulator (NRA);
- Informasi incumbent, terutama dari database perizinan;
- Daftar pengguna dan perangkat akses bersama yang memenuhi syarat, termasuk informasi tentang geolokasi, parameter pengoperasian, dan verifikasi sertifikasi perangkat;
- Input statis dan dinamis pada lingkungan spektrum, yang dapat mencakup data GIS (seperti medan dan clutter) dan data penginderaan;
- Analisis dampak emisi terhadap interferensi, penerapan model propagasi dan interferensi terhadap data yang tersedia mengenai pengguna dan lingkungan;
- Algoritma Koordinasi dan Proteksi yang mengkonversikan peraturan, input lingkungan, dan analisis interferensi menjadi jawaban objektif atas permintaan transmisi;
- Mesin perhitungan: Database menerapkan algoritma yang diturunkan dari peraturan sebagai respons terhadap permintaan spektrum;
- Antarmuka komunikasi yang memungkinkan pengguna akses bersama untuk secara langsung dan teratur memperbarui perizinan, berbagi informasi, dan menerima perubahan selanjutnya pada otorisasi mereka.

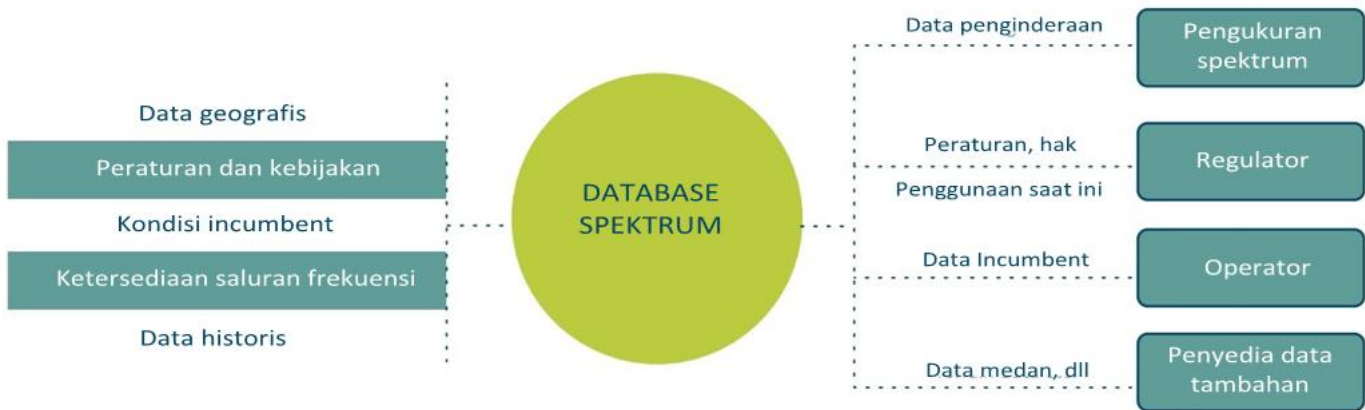
Secara keseluruhan, kami melihat bahwa DSMS hanyalah sebuah sarana untuk meningkatkan dan mengotomatisasi proses yang diotorisasi oleh regulator (dengan atau tanpa bantuan pihak ketiga) untuk pita (band) mana pun yang tidak perlu dilisensikan secara eksklusif. Seperti halnya koordinasi manual untuk sambungan point-to-point, misalnya, terdapat permintaan penetapan, analisis data lisensi, penerapan aturan pada input yang tersedia, dan keputusan yang dikomunikasikan. Namun, meskipun proses koordinasi manual atau bahkan dengan bantuan database dapat menjadi cukup mahal, lambat, dengan granularitas terbatas, dan rentan terhadap hasil yang tidak konsisten, mesin penghitungan otomatis dapat memberikan hasil yang hampir *real-time* dan konsisten dengan biaya yang sangat rendah.

Sistem Koordinasi Spektrum Dinamis: Cara Kerja

Titik awal untuk proses koordinasi otomatis yang diuraikan di atas, tentu saja, adalah peraturan dan panduan kebijakan NRA – termasuk revisi selanjutnya. Hal ini berawal dari pepatah bahwa pengguna akses bersama “tidak boleh merugikan” layanan incumbent. Tujuannya adalah dampak yang minimal terhadap pengoperasian incumbent, meskipun trade-off antara tingkat proteksi dan efisiensi spektrum harus ditentukan oleh NRA untuk setiap pita dan harus tercermin dalam peraturan. Hal yang penting adalah, peraturan ini tidak memerlukan rincian implementasi teknis, yang dapat didelegasikan (tergantung pada persetujuan NRA) kepada satu atau beberapa operator AFC atau, idealnya, kepada kelompok ahli multi-stakeholder

yang mencakup pakar dan perwakilan industri yang relevan.¹⁵

Dengan adanya peraturan, satu atau lebih operator DSMS biasanya diberi wewenang oleh NRA untuk mengembangkan dan mengelola sistem. Sebagaimana diuraikan lebih lanjut di bawah (Bagian 3), NRA memiliki pilihan mulai dari berkontrak dengan DSMS tunggal hingga melakukan kualifikasi dan sertifikasi beberapa operator DSMS yang bersaing. Dalam kedua situasi tersebut, operator DSMS mengembangkan algoritma yang mengkonversi peraturan NRA menjadi jawaban obyektif terhadap permintaan penetapan frekuensi spektrum. Biasanya diperlukan pengujian dan NRA dapat membuka komentar publik, yang memungkinkan berbagai pemangku kepentingan untuk mengemukakan kekhawatiran, gagasan, dan saran mereka.



Gambar 4- Model database spektrum umum. (Sumber: M. Höyhty, et al.)¹⁶

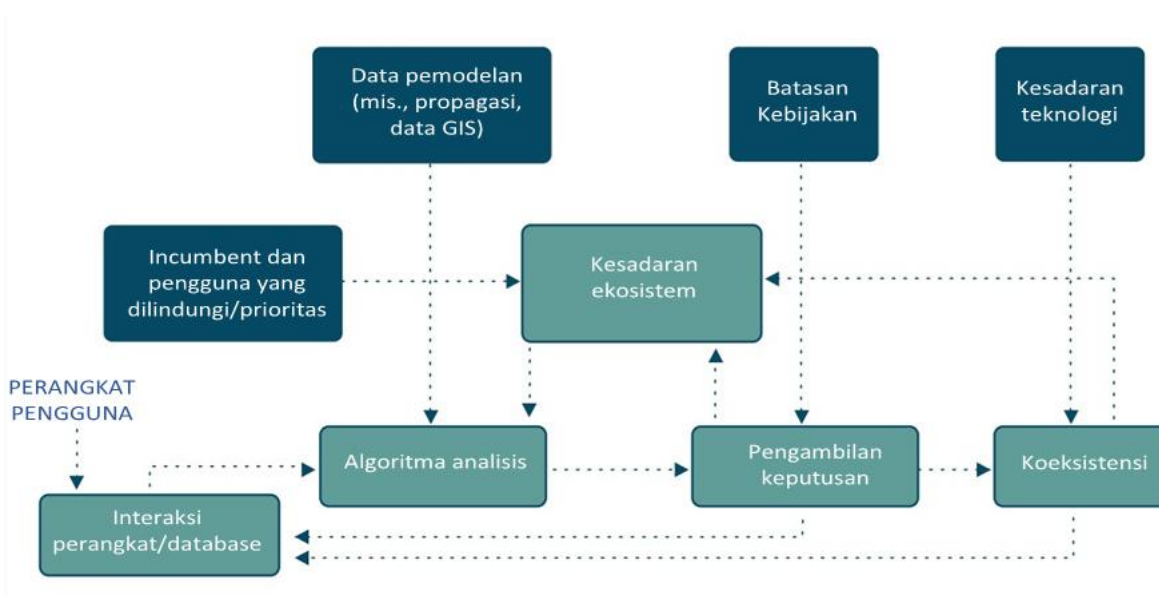
Komponen penting dari setiap proses koordinasi adalah informasi lisensi yang lengkap dan akurat mengenai operasi yang ada. Operator database akan secara berkala mengambil data lisensi NRA pada layanan yang terproteksi dan harus melakukan hal tersebut cukup sering untuk mendapatkan pemegang lisensi baru atau mengubah parameter operasi. Frekuensi pembaruan ini akan bervariasi tergantung pada pita (band). Parameter dasar dari sistem incumbent, seperti toleransi interferensi pada penerima dan area cakupan base station, juga merupakan input penting dalam analisis AFC dan respons terhadap permintaan dari pengguna sekunder.

Sayangnya, pengumpulan informasi incumbent dapat menjadi masalah ketika “regulator mungkin memiliki sebagian data, namun tidak semua, atau tidak memiliki tingkat rincian yang diperlukan untuk perhitungan proteksi,” sebagaimana diamati oleh Dewan Pos dan Telekomunikasi Eropa (CEPT) dalam laporannya mengenai kerangka pengelolaan database TV White Space.¹⁸ NRA mungkin perlu meminta incumbent untuk melaporkan informasi tambahan,¹⁹ serta untuk memverifikasi keakuratan data lisensi, atau setidaknya memberikan pilihan kepada incumbent untuk mengambil tindakan ‘self-help’ ini atau justru menghadapi peningkatan risiko interferensi. Pada saat yang sama, penting untuk meminimalkan beban dan mewajibkan semua

pemangku kepentingan untuk melaporkan informasi yang diperlukan untuk memfasilitasi pembagian tanpa interferensi. Laporan ECC juga menyatakan bahwa mungkin terdapat pertimbangan privasi dan biaya, namun dalam penerapannya hingga saat ini, hal ini dinilai masih kecil dan dapat dikelola.²⁰

Operator DSMS mungkin diminta untuk mengumpulkan serangkaian informasi serupa dari pengguna akses bersama sebagai bagian dari pemberian lisensi transmisi apa pun.

Pengguna sekunder ini, baik yang memiliki lisensi ringan atau tidak berlisensi, umumnya harus mendaftar melalui portal pendaftaran mandiri online dan memberikan informasi umum (seperti informasi kontak, lokasi, perangkat bersertifikat yang akan digunakan) serta parameter operasi teknis apa pun yang diperlukan DSMS untuk menerapkan algoritmanya. Pendaftaran juga merupakan peluang bagi operator database untuk mengatur mekanisme pembayaran atas biaya apa pun yang diizinkan oleh NRA, termasuk (sesuai pilihan regulator) biaya lisensi atau penggunaan spektrum.²¹



Gambar 5: Arsitektur konseptual untuk sistem koordinasi frekuensi otomatis (AFC).

Hal terpenting adalah, operator DSMS biasanya akan mempertahankan registri titik akses dan perangkat lain yang disertifikasi oleh NRA. Verifikasi sertifikasi perangkat sangat penting untuk memastikan bahwa izin pengoperasian tidak diberikan kepada perangkat yang tidak mematuhi peraturan teknis untuk pita (band) tersebut. Aturan sertifikasi perangkat NRA harus melarang pengguna memodifikasi pengaturan perangkat keras atau perangkat lunak untuk menghindari permintaan dan mematuhi penugasan berbatas waktu dari DSMS resmi.²² Sebaliknya, NRA perlu mengadopsi standar sertifikasi perangkat yang mensyaratkan bahwa perangkat tidak akan melakukan transmisi pada pita tersebut tanpa lisensi terkini dari penyedia database yang disetujui.

Serangkaian input lain yang berharga dan semakin canggih dapat menginformasikan pemodelan interferensi dan kesadaran ekosistem. Algoritma analisis untuk database dinamis mencakup model propagasi (*path loss*), karakteristik perangkat (misalnya, *emission mask* di luar pita), dan pola antena (misalnya, antena terarah memiliki dampak yang jauh berbeda dibandingkan antena omnidireksional). Model propagasi dan interferensi dapat berdampak besar pada ketersediaan spektrum bersama. Pemodelan propagasi dapat dibatasi pada daerah tertentu (misalnya, model propagasi Longley-Rice yang terbatas namun banyak digunakan), atau dapat lebih kuat dengan memperhitungkan clutter (struktur, pohon), material bangunan, tinggi bangunan, dan informasi lainnya.

Hasil studi koeksistensi antara perangkat dan incumbent, baik bench test atau pengukuran lapangan, dapat digunakan oleh NRA sebagai landasan untuk menentukan tingkat interferensi yang dapat ditoleransi dalam situasi tertentu.²³

Semakin detail dan andal datanya, semakin akurat (dan biasanya semakin kuat) pemberian izin untuk penggunaan akses bersama.²⁴ Misalnya, dengan daya rendah, Wi-Fi atau perangkat broadband lainnya mungkin dapat beroperasi jauh lebih luas jika algoritma DSMS memperhitungkan pemodelan 3D clutter, yang tidak hanya memperhitungkan tapak bangunan (di permukaan tanah), tetapi juga ketinggiannya. Database dinamis akan semakin mengintegrasikan data GIS, data lokasi perangkat, data penginderaan RF (jika tersedia), serta peraturan dan kebijakan NRA ke dalam Radio Environment Map (REM) yang memberikan dasar yang paling terperinci, efisien dan dapat diandalkan untuk memberikan atau menolak permintaan untuk beroperasi dengan basis sekunder. Hal ini dibahas lebih lanjut pada Bagian 5 di bawah.

Pada titik ini, database DSMS telah disertifikasi dan memiliki data incumbent, pengguna, lingkungan, dan data lainnya yang diperlukan untuk segera merespons permintaan penetapan frekuensi. Operator jaringan atau perangkat individual meminta penetapan. Tergantung pada aturan yang diterapkan, permintaan operator dapat berupa penetapan satu atau lebih saluran bandwidth umum, untuk rentang frekuensi tertentu, atau daftar frekuensi yang tersedia untuk dipilih. Sistem koordinasi pertamanya akan memverifikasi bahwa pengguna sekunder telah terdaftar dan bahwa titik akses atau perangkat lain yang meminta otorisasi telah disertifikasi. Algoritma yang diinformasikan oleh peraturan, data pemodelan yang tersedia, serta lokasi pengguna serta karakteristik perangkat diterapkan pada permintaan pengguna. Mesin perhitungan menghasilkan daftar frekuensi yang diizinkan, daya pancar terkait, berakhirnya lisensi, dan parameter lainnya.²⁶

Dalam sistem koordinasi otomatis, hasilnya segera dikomunikasikan kembali kepada pengguna. Dalam beberapa kasus, penolakan terhadap permintaan tertentu disertai dengan penawaran saluran alternatif atau tingkat daya, tergantung pada desain sistem secara keseluruhan. Kebutuhan akan peninjauan dan persetujuan analisis koordinasi dengan menggunakan sumber daya NRA dihilangkan.

Hal ini mempercepat waktu ke pasar dan mengurangi biaya. Demikian pula, sistem koordinasi otomatis juga dapat memfasilitasi transaksi pasar sekunder. Database dapat dengan cepat mencocokkan penawaran dan permintaan, mengurangi biaya transaksi, dan menegakkan ketentuan (misalnya, peraturan NRA tentang partisi lisensi, jangka waktu atau batasan daya).²⁷

Penetapan frekuensi biasanya memiliki batas waktu, sehingga mengharuskan jaringan atau perangkat untuk secara berkala meminta perpanjangan atau perubahan izin. Oleh karena itu, izin yang diberikan oleh DSMS setara dengan otorisasi (atau lisensi) terbatas waktu untuk melakukan transmisi. Berakhirnya lisensi secara otomatis memungkinkan perubahan apa pun dalam persyaratan proteksi bagi incumbent dan dapat sangat bervariasi (mulai dari hitungan jam hingga minggu). Kegagalan untuk melakukan perpanjangan atau pembaruan dianggap karena tidak aktif dan masa berlaku lisensi telah habis. Otomatisasi ini memungkinkan NRA untuk melakukan penetapan frekuensi yang terbatas secara geografis, atau dalam jangka waktu sesingkat mungkin yang dianggap tepat untuk memproteksi incumbent dan memenuhi tujuan kebijakannya secara keseluruhan. Hal ini juga dapat berubah seiring berjalannya waktu.

Di luar fungsi dasar ini, sistem DSM memiliki kemampuan potensial di luar jangkauan proses manual atau bahkan dengan bantuan database. Hal ini termasuk dalam kategori yang meliputi pemantauan dan pengumpulan data tentang penggunaan sebenarnya dari pita tersebut; optimasi koeksistensi, yang membantu perangkat meminimalkan interferensi timbal balik (relevan apabila pengguna sekunder tidak memiliki proteksi interferensi);²⁸ bantuan pelaksanaan (termasuk kemampuan untuk mengidentifikasi dan mematikan perangkat yang salah);²⁹ dan penyesuaian dinamis terhadap parameter kontrol penerimaan (sebagai respons, misalnya, terhadap interferensi agregat di wilayah geografis tertentu). Manfaat koordinasi otomatis bagi operator jaringan dan regulator diuraikan lebih lanjut di Bagian 3 di bawah ini, namun contoh utamanya mencakup:

- Mengoptimalkan koeksistensi di antara pengguna sekunder, jika relevan, berdasarkan peraturan NRA (misalnya, di antara pengguna yang tidak memiliki lisensi atau pengguna oportunistik lainnya);
- Mengumpulkan data dan melaporkan penggunaan sebenarnya dari pita tersebut, serta anomali apa pun yang mungkin menjadi masukan bagi tindakan regulasi di masa mendatang;³⁰

- Mempertahankan kemampuan untuk mengidentifikasi dan mematikan perangkat atau penyedia jika terjadi interferensi berbahaya atau keadaan darurat;
- Memfasilitasi transaksi pasar sekunder;
- Memungut biaya penggunaan atau biaya regulasi apa pun yang diizinkan atau diwajibkan oleh NRA;
- Menyediakan portal bagi para incumbent dan/atau pengguna untuk melaporkan koreksi atau pembaruan data perizinan, parameter operasi, atau untuk melaporkan insiden interferensi;
- Mengembangkan layanan tambahan yang bernilai tambah yang dapat ditawarkan kepada pemangku kepentingan, termasuk incumbent.

2. SISTEM KOORDINASI FREKUENSI: MANUAL KE OTOMATIS KE DINAMIS

Penggunaan database sebagai alat untuk mengoordinasikan penetapan frekuensi – dan menghindari interferensi berbahaya – memiliki sejarah keberhasilan yang panjang. Di Amerika Serikat, spektrum ribuan MHz dibagikan antara entitas yang tidak terkait melalui proses koordinasi yang dikendalikan oleh, atau dibantu oleh, database yang dioperasikan oleh satu atau lebih entitas komersial yang diberi wewenang oleh FCC. Seiring dengan melonjaknya permintaan akan spektrum dan kemajuan teknologi, koordinasi database spektrum telah berevolusi dari manual, menjadi berbantuan database, menjadi otomatis, dan kemudian menjadi dinamis. Teknologi DSMS memiliki kemampuan untuk memperhitungkan input nyata di luar data lisensi statis, menggunakan pemodelan propagasi dan/atau interferensi berdasarkan bagaimana setiap perangkat yang dimasukkan ke dalam pita mengubah lingkungan interferensi, atau dengan penginderaan spektrum atau data dynamic awareness lainnya.

Tentu saja, koordinasi spektrum yang asli dan paling mendasar dilakukan secara manual, dengan informasi dari banyaknya database perizinan yang dikelola oleh NRA, seperti Universal Licensing System (ULS) yang dikelola oleh FCC.³¹ Database lisensi ini, meskipun kaya akan rincian operasional, hampir seluruhnya bersifat statis. ULS dan lainnya saat ini memungkinkan pengajuan permohonan lisensi secara elektronik – yang dapat mempercepat prosesnya – namun umumnya masih diperlukan tinjauan secara manual dan penetapan tidak dapat diberikan secara instan. Database lisensi memainkan peran penting dalam membantu koordinasi dalam

pita bersama, namun hal ini terutama dilakukan sebagai masukan informasi bagi staf lembaga, atau, pihak ketiga eksternal yang menjalankan perhitungan dan menyiapkan laporan koordinasi. Diperlukan lebih banyak upaya untuk memungkinkan berbagi pita dinamis, khususnya dalam skala besar dan di antara pengguna dengan teknologi yang berbeda.

A. Koordinasi Manual Berbasis Database

Selama beberapa dekade, sebagian besar koordinasi dan persetujuan atas lisensi tetap berbasis lokasi (seperti pemancar dan sambungan point-to-point) mengandalkan proses manual yang bergantung pada database lisensi NRA.

Contoh utama adalah model koordinasi yang digunakan sejak tahun 1974 di AS untuk mengoordinasikan sambungan gelombang mikro point-to-point dalam pita Layanan Satelit Tetap. C-Band 6 GHz sendiri memiliki sekitar 100.000 sambungan berlisensi yang beroperasi pada satu atau lebih saluran di spektrum 850 MHz.³² Secara umum, Pasal 101 dari peraturan Komisi mengharuskan operator untuk menyelesaikan koordinasi sebelum mengajukan permohonan otorisasi.³³ “Pemohon harus, melalui analisis yang tepat, memilih karakteristik pengoperasian untuk menghindari interferensi yang melebihi tingkat yang diizinkan terhadap pengguna spektrum lainnya.”³⁴

Untuk setiap sambungan, operator biasanya berkontrak dengan perusahaan swasta yang memenuhi syarat untuk menyiapkan analisis koordinasi, yang harus dikirimkan ke pengguna terdaftar lainnya di wilayah tersebut (yang memiliki waktu hingga 30 hari untuk mengajukan keberatan). Hanya dengan demikian pengguna dapat mengajukan permohonan otorisasi kepada Komisi, dengan menyatakan lokasi dan parameter teknis lengkap dari pemancar yang akan digunakan. FCC biasanya membutuhkan waktu hingga 30 hari lagi untuk meninjau dan menyetujui lisensi tersebut, yang mungkin bersifat sementara jika ditentukan berdasarkan persyaratan pembangunan. Meskipun perusahaan besar seperti Comsearch – yang mengoordinasikan lebih dari 10.000 sambungan setiap tahunnya – kini menggunakan database milik mereka sendiri untuk mengotomatisasi sebagian besar proses tersebut, biaya dan waktu koordinasi yang diperlukan untuk melisensikan sambungan point-to-point bisa sangat besar.³⁵

NRA Eropa menerapkan proses serupa yaitu “penetapan link-by-link konvensional dan koordinasi

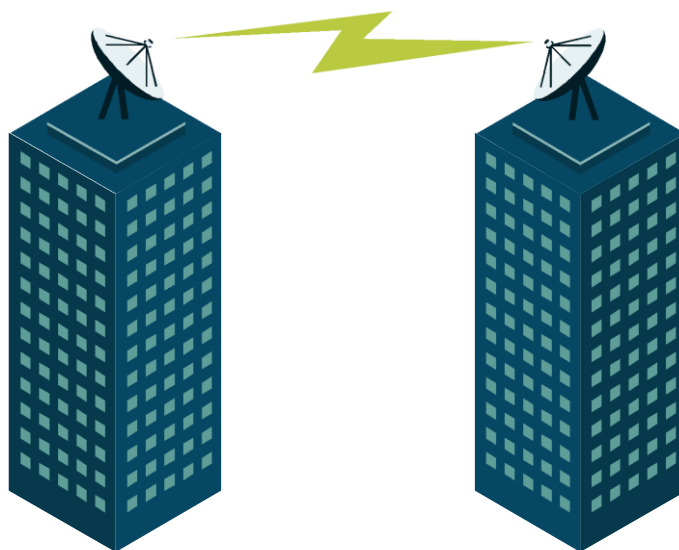
terpusat” untuk hampir semua sambungan point-to-point.³⁶ Perbedaan utama dari proses di AS adalah bahwa analisis biasanya dilakukan di dalam badan tersebut, menggunakan database dan perangkat lunak analisis milik regulator, dan bukan melalui koordinator pihak ketiga. Biaya tambahan ini dimasukkan dalam biaya lisensi. NRA memiliki akses penuh terhadap informasi lisensi (hal ini penting karena database lisensi pada umumnya tidak tersedia untuk umum seperti di AS) dan tanggung jawab untuk mengantisipasi dan menyelesaikan koordinasi lintas negara (hal ini penting di UE yang memiliki banyak batas negara).

Pada saat yang sama, volume dan kompleksitas koordinasi nirkabel (wireless) diperkirakan akan tumbuh pesat, bahkan pada pita-pita yang tidak

digunakan bersama dengan layanan incumbent.

Laporan ECC 173 menyimpulkan bahwa “tren pasar FS saat ini adalah peningkatan penyediaan. . . sambungan dengan kapasitas sangat tinggi,” khususnya untuk infrastruktur seluler, sebagai “alternatif yang layak dibandingkan penggunaan fiber optik, terutama di daerah pedesaan, namun juga di daerah perkotaan dengan kepadatan tinggi” dimana penggalian jalan dapat mengganggu atau memakan biaya yang terlalu besar.³⁷ Selain itu, laporan ini mengakui adanya pertumbuhan paralel dalam koordinasi point-to-multipoint karena para operator juga berupaya menghindari hambatan dalam menggali fiber dengan menerapkan layanan nirkabel berkapasitas tinggi ke rumah-rumah dan tempat usaha, serta untuk *mobile backhauling*.

SAMBUNGAN GELOMBANG MIKRO POINT TO POINT



Gambar 6: Sambungan point-to-point biasanya dilakukan melalui koordinasi manual.

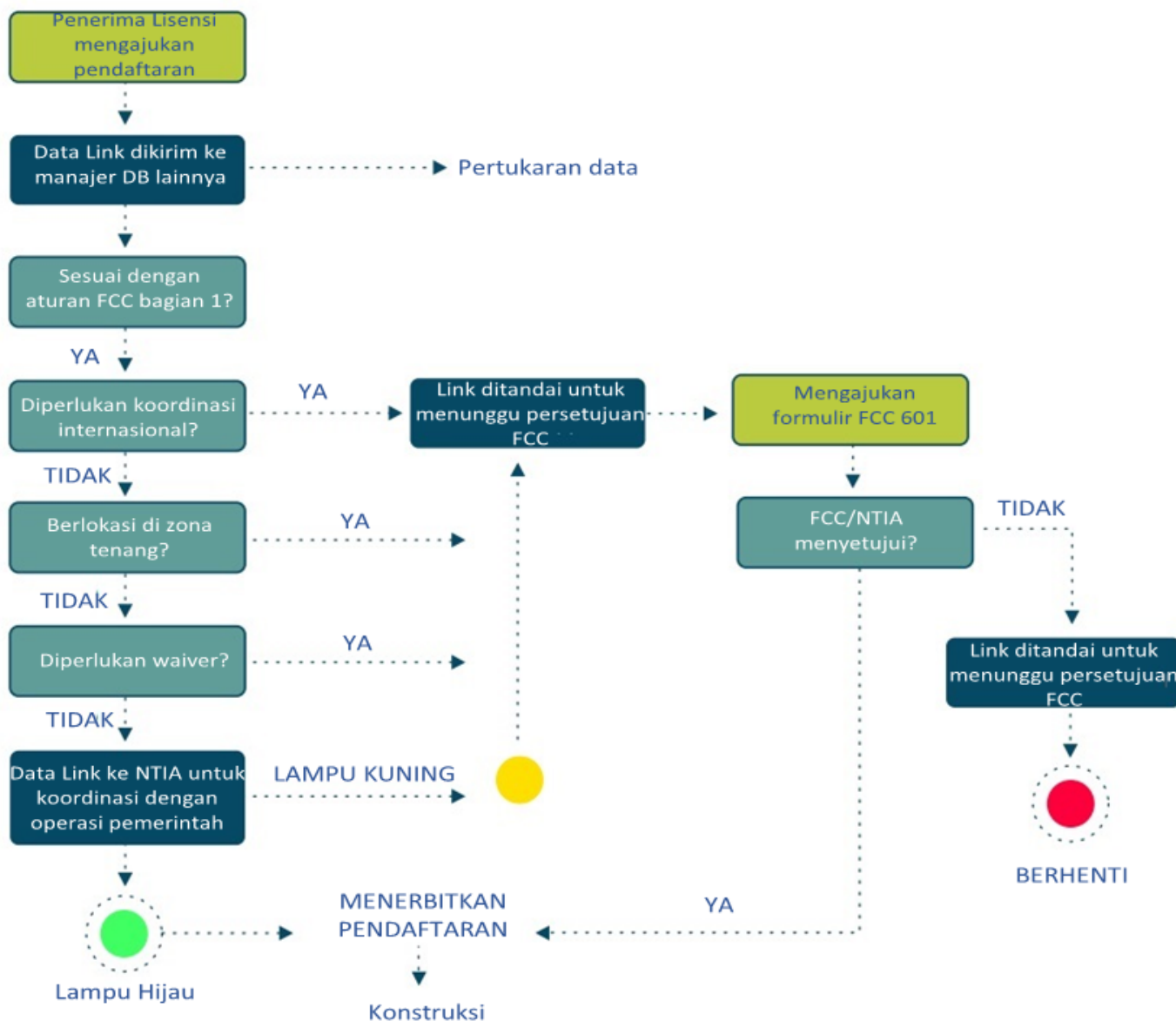
Variasi terbaru dari regulator yang memanfaatkan koordinasi berbasis database adalah proses koordinasi untuk Layanan Telemetri Medis Nirkabel (WMTS) di Amerika Serikat. Ratusan rumah sakit berbagi dua pita yang ditujukan untuk perangkat medis yang menggunakan spektrum pita sangat rendah. Karena spektrum lisensi berdasarkan aturan ini didedikasikan hampir seluruhnya untuk rumah sakit, FCC menunjuk American Hospital Association (AHA) untuk melakukan pencatatan yang berupaya memastikan rumah sakit terdekat tidak menimbulkan

interferensi timbal balik dan juga untuk menghindari zona pengecualian tertentu (untuk radio astronomi di pita yang sesuai dengan Channel 37).³⁸ Koordinator database tidak benar-benar membuat penetapan frekuensi. Perannya adalah untuk mendaftarkan dan memberi tahu pengguna WMTS dan produsen peralatan tentang potensi konflik frekuensi. Setiap perselisihan terkait interferensi yang tidak diselesaikan oleh para pihak akan dirujuk ke staf FCC untuk penyelesaian akhir.³⁹

B. Koordinasi Semi-Otomatis dan Berbantuan Database: 70/80/90 GHz

Selama hampir tiga dekade, database spektrum telah dimanfaatkan untuk menyederhanakan proses koordinasi sambungan point-to-point (PtP) dalam pita bersama melalui proses semi-otomatis.

Sejak tahun 2004, di AS, FCC telah mensertifikasi beberapa operator database komersial, di bawah wewenang yang didelegasikan, untuk mendaftarkan, mengelola, dan mengoordinasikan pendaftaran sambungan PtP pada pita 71-76 GHz, 81-86 GHz, dan 92-95 GHz yang digunakan bersama dengan incumbent pemerintah federal.⁴⁰



Gambar 7: Proses registrasi sambungan 70/80/90 GHz dan koordinasi database yang saling berhubungan dengan database pemerintah AS untuk memastikan tidak ada konflik dengan penggunaan pita frekuensi oleh militer atau lembaga lainnya. ⁴³

Sebagaimana dinyatakan oleh FCC pada saat itu, dalam pita gelombang milimeter, karakteristik sinyal “pencil-beam” yang sangat terarah dari sambungan PtP “memungkinkan sistem dalam pita tersebut direkayasa dalam jarak dekat tanpa menyebabkan interferensi berbahaya.”⁴¹ FCC menyimpulkan bahwa hal ini menghilangkan kebutuhan akan proses koordinasi frekuensi PtP tradisional yang dijelaskan di atas. Sebaliknya, FCC mengadopsi kerangka lisensi ringan yang dikoordinasikan oleh pengelola database swasta yang bersaing. Pengguna mengajukan permohonan lisensi nasional non-eksklusif untuk mencari link, dengan menggunakan frekuensi 12,9 GHz yang dialokasikan untuk penggunaan komersial.⁴² Peraturan FCC memungkinkan beberapa koordinator database untuk bersaing dan memberikan layanan tambahan seperti desain link, koordinasi sebelumnya, dan analisis interferensi.

Untuk mendaftarkan sebuah link, penerima lisensi menggunakan portal online untuk memasukkan garis lintang/bujur dan parameter lain yang diperlukan. Koordinator frekuensi memverifikasi bahwa jalur sambungan yang diusulkan tidak akan mengganggu pengguna terdaftar lainnya. Meskipun prosesnya disederhanakan, karena adanya kebutuhan untuk memproteksi operasi Pemerintah Federal – termasuk sistem rahasia – FCC mewajibkan operator database untuk terlebih dahulu berkoordinasi dengan pengguna Federal melalui database non-publik yang terpisah.⁴⁴ Badan Telekomunikasi dan Informasi Nasional (NTIA), yang merupakan pengelola spektrum Federal milik pemerintah, mengelola database koordinasi otomatis dari penetapan Federal di pita tersebut. Ketika terdapat permintaan untuk link komersial baru, koordinator database pertamanya memeriksa jalur yang diminta agar tidak ada gangguan pada link non-Federal. Koordinator database kemudian menyampaikan permintaan tersebut ke database NTIA dan menerima persetujuan, penolakan, atau penangguhan untuk pertimbangan lebih lanjut melalui proses otomatis “lampu hijau, lampu kuning, lampu merah” (lihat ilustrasi di atas).⁴⁵

Sebaliknya, Inggris pada akhirnya mengadopsi “pendekatan manajemen campuran” yang sangat berbeda untuk frekuensi E-Band 71-76 GHz dan 81-86 GHz. Bagian bawah setiap pita dikoordinasikan dalam proses tradisional, yaitu link-by-link oleh lembaga itu sendiri, sedangkan bagian atas dari setiap pita dikoordinasikan sendiri (lisensi ringan) oleh operator yang diwajibkan melakukan analisis interferensi dan berkonsultasi mengenai masalah interferensi yang

diakibatkannya.⁴⁶ Kedua pendekatan ini pada dasarnya adalah proses manual namun dengan bantuan database untuk link PtP di 6 GHz dan pita layanan lainnya. Australia, Rusia dan Ceko telah mengadopsi pendekatan “lisensi ringan” terhadap E-Band, meskipun pendekatan ini umumnya didasarkan pada koordinasi mandiri dan registrasi *first-in-time*, serupa dengan kerangka di Inggris untuk bagian atas setiap pita. Pada tahun 2022, TRAI India juga mengadopsi proses registrasi online untuk sambungan backhaul E-band.⁴⁷ “Tanggung jawab analisis interferensi berada di tangan pemegang lisensi, yang perlu memeriksa database link WPC sebelum melakukan registrasi link (link harus terproteksi berdasarkan basis “*first come first served*” atau siapa cepat dia dapat).”⁴⁸

C. Akses Bersama Berlisensi

Eksperimen Eropa yang kini telah berlangsung selama satu dekade dengan Akses Bersama Berlisensi (LSA) adalah model lain yang menggunakan bantuan database untuk memfasilitasi pembagian dua lapis antara pemegang lisensi primer dan sekunder. LSA akan memberikan kesempatan kepada pemegang spektrum incumbent (misalnya operator seluler besar, pengguna pemerintah) untuk menyewakan seluruh atau sebagian spektrumnya untuk sementara waktu kepada operator lain sambil menjamin bahwa tidak ada interferensi yang ditimbulkan pada incumbent. Dalam model ini, yang awalnya ditargetkan pada pita 2300-2400 MHz, NRA memainkan peran langsung dalam mengelola database informasi yang digunakan oleh pemegang lisensi primer dan sekunder untuk berbagi pita tersebut.⁴⁹ Berbeda dengan model berbagi pita (band-sharing) yang diadopsi di Amerika Serikat, kerangka Eropa untuk LSA bergantung pada persetujuan dari operator saat ini dan operator Jaringan Komunikasi Seluler/Tetap (MFCN) terkait ketentuan penggunaan spektrum.⁵⁰

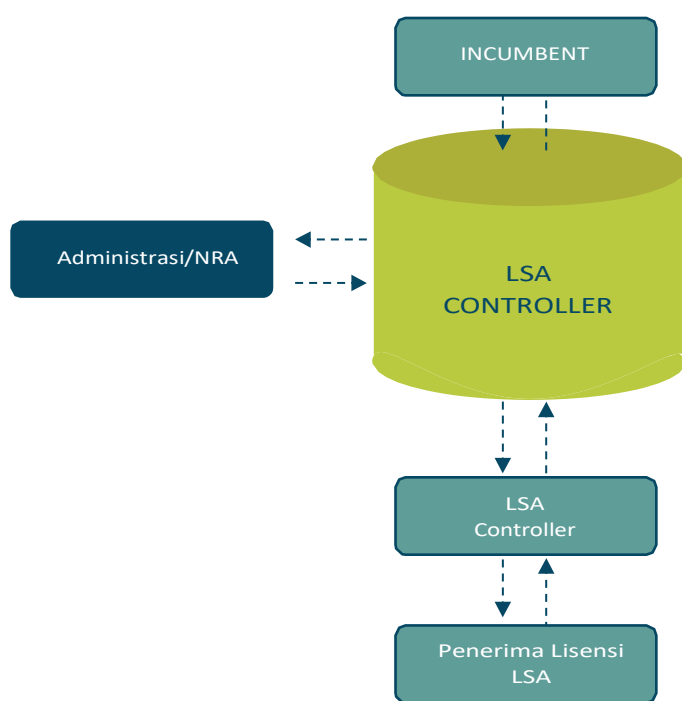
Komite Komunikasi Eropa (ECC) mendorong pemerintah anggota CEPT untuk menyebarkan jaringan seluler pada 2300–2400 MHz di bawah rezim LSA.⁵¹ ETSI mendukung hal ini dengan merilis protokol standar untuk LSA pada tahun 2017. Namun, berdasarkan analisis mendalam yang dilakukan oleh mantan pejabat Ofcom, William Webb, dan rekan, “Pada akhir tahun 2021, satu-satunya penerapan akses spektrum yang mirip seperti LSA di Eropa dilaporkan di Belanda, dan hanya untuk pendaftaran akses spektrum untuk peralatan nirkabel Program Making and Special Events (PMSE), seperti kamera nirkabel seluler.”⁵² Meskipun penerapan LSA masih terhenti, Webb dkk. melaporkan bahwa model tersebut “terus dipandang

sebagai visi menjanjikan dari pembagian spektrum berbasis database,” khususnya yang berkaitan dengan fasilitasi dan kemungkinan otomatisasi penyewaan pasar sekunder oleh operator incumbent kepada operator seluler yang berupaya meningkatkan kapasitas dengan jaminan kualitas layanan di wilayah sasaran.⁵³

Kerangka LSA mengasumsikan bahwa NRA membuat dan mengoperasikan Repositori Akses Bersama (LR) Berlisensi, dengan database umum yang berisi informasi mengenai ketentuan berbagi dan lokasi incumbent, parameter operasi, dan data lain yang diperlukan oleh setiap pemegang lisensi LSA. Setiap pemegang lisensi LSA mengoperasikan LSA Controller yang dipatenkan dalam jaringannya sendiri, berinteraksi dengan Repositori. LSA Controller, yang berada di dalam jaringan operator, harus memeriksa secara berkala dan melaporkan status

penggunaannya, sehingga Repositori NRA dapat memverifikasi tidak adanya interferensi dan adanya kepatuhan berkelanjutan terhadap perjanjian berbagi-pakai.⁵⁴

Kerangka dua lapis dan berlisensi eksklusif LSA sangat berbeda dari database koordinasi frekuensi otomatis yang diadopsi di Amerika Serikat untuk memungkinkan akses bersama terbuka ke kapasitas yang tidak terpakai di siaran TV, Angkatan Laut AS, dan pita 6 GHz (dijelaskan di bawah). Repositori terpusat memfasilitasi akses sekunder terhadap spektrum yang tidak terpakai hanya sejauh incumbent setuju untuk membaginya. “Dalam LSA, incumbent memiliki kendali atas ketersediaan dan ketentuan pembagian spektrum yang dapat dibagikan,” sedangkan dalam model koordinasi frekuensi otomatis di AS “regulator pemerintah mengamanatkan ketersediaan dan ketentuan spektrum yang dapat dibagikan” dan dengan demikian “membagi semua spektrum secara default.”



Gambar 8 Elemen fungsional dan interaksi LSA (Sumber: Laporan ECC 205)

D. Koordinasi Frekuensi Database yang Sepenuhnya Otomatis: TV White Space

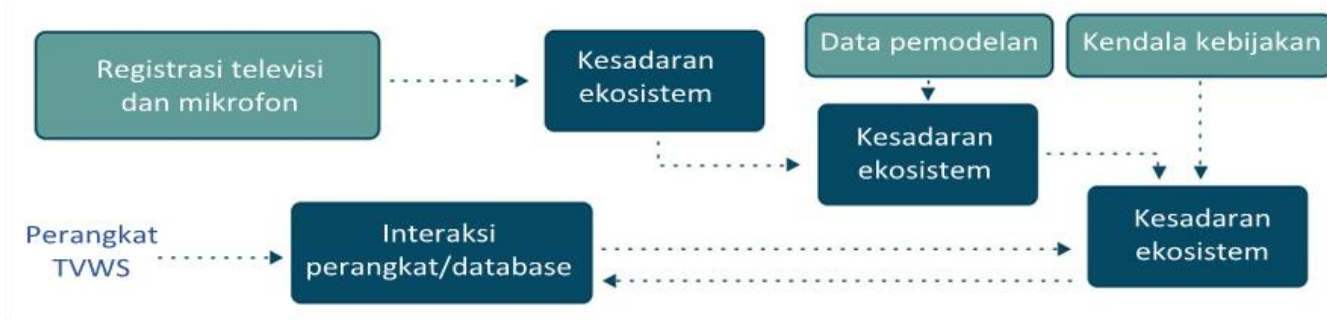
Sistem koordinasi pertama yang sepenuhnya otomatis diberi wewenang untuk mengelola akses tanpa lisensi ke saluran pita TV yang kosong, spektrum yang tidak terpakai dikenal sebagai TV White Space (TVWS). Aturan yang mengatur akses terkoordinasi database ke TVWS diselesaikan pertama kali pada tahun 2010 oleh FCC, namun telah diadopsi oleh banyak negara. Inggris, Korea Selatan, Jepang, Singapura, Filipina, dan Kenya memiliki sistem kerja yang dikelola, sebagaimana di AS, oleh satu atau lebih operator database geolokasi otomatis.⁵⁶ Afrika Selatan mengadopsi aturan TVWS pada Maret 2018.⁵⁷ Lebih dari dua belas negara lain telah menerapkan program percontohan TVWS yang sukses, yang sebagian besar meningkatkan konektivitas broadband ke sekolah-sekolah dan daerah pedesaan, termasuk di Kolombia, Taiwan, Jamaika, Namibia, Ghana, Tanzania, Trinidad dan Tobago, serta Malawi.⁵⁸ Banyak dari inisiatif ini didampingi oleh Model Aturan dan Regulasi Penggunaan TV White Space yang disediakan oleh Dynamic Spectrum Alliance dan para anggotanya.⁵⁹

TV Bands Databases (TVDB) adalah ilustrasi langsung dari poin yang ditekankan di bagian atas laporan ini: TVDB tidak melakukan apa pun selain mengotomatiskan proses koordinasi spektrum manual. Otomatisasi ini mempercepat akses, menurunkan biaya, memberikan proteksi yang lebih baik kepada pemegang lisensi incumbent (stasiun penyiaran dan mikrofon nirkabel, paling umum), dan memperhitungkan dengan cepat perubahan dalam penggunaan pita. Hal ini sangat jelas terlihat pada pita TV, dimana pemancar

incumbent sudah terpasang dan parameter operasinya sudah diketahui dengan baik. Karena ekosistem incumbent sebagian besar bersifat statis (tetap), hasil permintaan pengguna sekunder untuk melakukan transmisi dapat dihitung sebelumnya, yang berarti output dari mesin penghitungan dapat diverifikasi terlebih dahulu untuk lokasi mana pun oleh regulator. Yang ditambahkan adalah antarmuka pengguna dan otomatisasi, yang memungkinkan penetapan hampir secara *real-time* dan sangat terperinci dengan biaya rendah dan akurasi yang konsisten.

Seperti yang diilustrasikan skema di bawah ini, TVDB mengambil data lisensi incumbent, termasuk geolokasi dan parameter pengoperasian, dan menghitung ketersediaan saluran kosong, serta tingkat daya yang diizinkan. Perangkat TV White Space (WSD) diharuskan mengakses server database setidaknya satu kali sehari (berdasarkan aturan AS, namun di Inggris setiap 15 menit) atau apabila perangkat berpindah lokasi. Perangkat menerima daftar saluran yang tersedia dan daya pancar maksimum yang diizinkan (yang sebagian merupakan fungsi pemisahan frekuensi dari stasiun siaran lokal).

Proses koordinasi yang cukup statis ini sedikit rumit pada saluran TV yang juga digunakan bersama oleh mikrofon nirkabel berlisensi (misalnya, di AS dan Inggris), yang bersifat intermiten dan dapat bergerak. Di AS, data proteksi incumbent ini mencakup "reservasi" saluran oleh mikrofon nirkabel berlisensi, yang biasanya beroperasi sebentar-sebentar atau intermiten (misalnya, pada acara besar).⁶⁰ Dalam hal ini, TVDB mengelola sistem berbagi tiga lapis, setidaknya di AS dan Inggris di mana pengguna PMSE (mikrofon) yang berlisensi memiliki akses prioritas dibandingkan dengan perangkat yang tidak berlisensi.



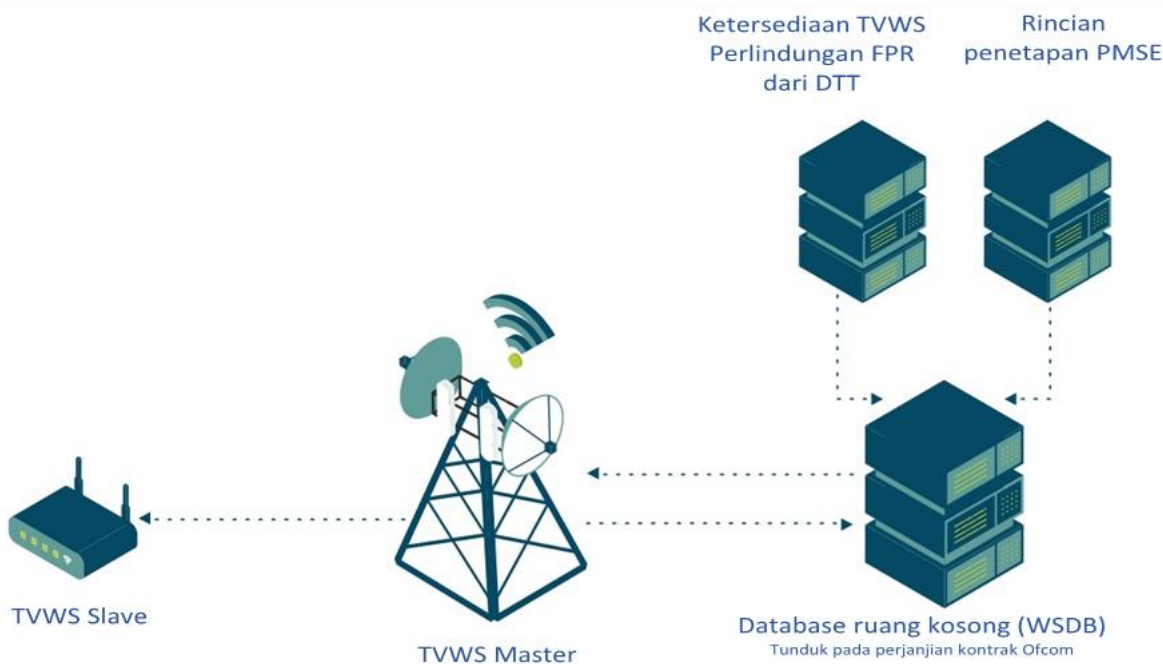
Gambar 9: Arsitektur sistem kendali masuk yang disederhanakan untuk Television Whitespace Database (TVDB).

Di Amerika Serikat, para penonton televisi terproteksi dalam kontur standar dan statis yang dihitung menggunakan model propagasi Kurva FCC yang relatif sederhana dan sangat konservatif (tidak realistis dan sering kali terlalu protektif) yang hanya mempertimbangkan ketinggian rata-rata suatu daerah dalam arah tertentu, dan tidak memperhitungkan secara spesifik karakteristik geografis dasar lainnya (seperti pegunungan, danau), maupun pepohonan, bangunan, atau “clutter” lainnya yang digunakan oleh model GIS yang lebih canggih. Aturan TVWS Ofcom, yang kemudian diresmikan, dan dengan manfaat simulasi kekuatan sinyal TV berbasis piksel yang lebih granular, memungkinkan penghitungan database yang lebih akurat dan karenanya lebih banyak bandwidth untuk WSD dan lebih banyak proteksi bagi para penonton televisi. Namun, baik database Ofcom maupun FCC tidak memperhitungkan medan dalam memproteksi PMSE, dan malah mengasumsikan skenario line-of-sight yang terburuk.

Meskipun TVDB sepenuhnya mengotomatiskan koordinasi, beberapa fitur penting menyederhanakan implementasinya dan membedakannya dari sistem koordinasi database dinamis dan/atau tiga lapis yang dijelaskan di bawah (CBRS di Amerika Serikat). Yang

pertama, dan yang paling jelas, koordinasi saluran dalam pita TV bersifat dua lapis; semua pengguna akses bersama memiliki status bebas lisensi yang sama, yang berarti mereka tidak memiliki hak atas proteksi interferensi dibandingkan dengan pengguna akses bersama lainnya. Dan ketika hanya sinyal TV yang memerlukan proteksi (dan tidak ada pengguna sekunder, seperti mikrofon nirkabel, yang memiliki “akses prioritas”), stasiun-stasiun incumbent sudah sepenuhnya tetap sehingga output mesin perhitungan atas saluran-saluran yang tersedia untuk penggunaan tidak berlisensi sepenuhnya dapat diprediksi.

Kedua, dan yang terkait dengan hal ini, TVDB tidak menyediakan layanan manajemen koeksistensi. Sebagaimana pita konvensional tidak berlisensi lainnya, koeksistensi dinyatakan sebagai sukarela, koordinasi mandiri antar pengguna atau, jika regulator mengizinkan, ditawarkan sebagai layanan bernilai tambah oleh satu (atau lebih) operator TVDB. Menariknya, layanan nilai tambah paling awal yang ditawarkan oleh salah satu TVDB pesaing di Amerika Serikat (Spectrum Bridge), memanfaatkan database untuk memungkinkan operator mikrofon nirkabel menentukan dengan mudah saluran mana yang paling bebas dari potensi interferensi (tidak hanya dari WSD yang tidak berlisensi, tapi juga dari stasiun TV terdekat).



Gambar 10: Arsitektur OFCOM untuk Television Whitespace Database (TVDB).

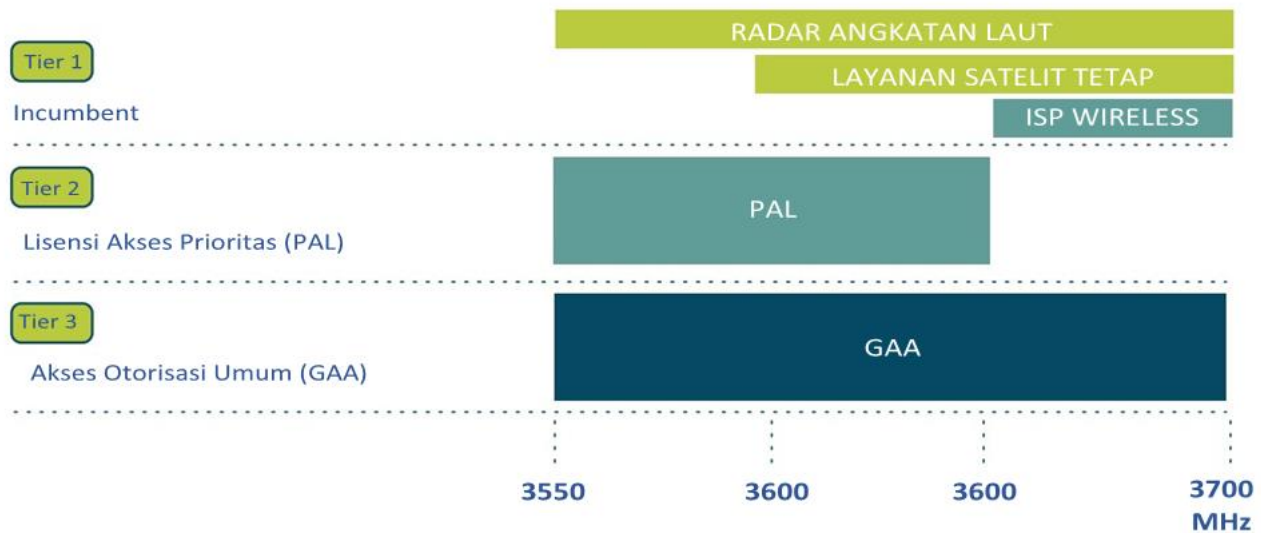
Terakhir, TVDB tidak mempertimbangkan interferensi agregat saat menghitung saluran dan tingkat daya yang tersedia untuk setiap perangkat yang mencari akses tak berlisensi. Perhitungan interferensi sepenuhnya statis dan one-to-one; baik WSD – yang disesuaikan dengan daya, bandwidth, dan ketinggian di atas permukaan tanah – berada di luar kontur proteksi stasiun TV lokal (atau sistem mikrofon nirkabel terdaftar) ataupun tidak. Dengan kata lain, lisensi pengoperasian WSD baru tidak bergantung pada kedekatan posisi atau pemilihan saluran WSD lain yang sebelumnya diterima dalam pita tersebut. Meskipun hal ini menyederhanakan koordinasi, ketidakmampuan TVDB untuk mengelola interferensi secara dinamis menghasilkan daya maksimum per WSD “berdasarkan estimasi kepadatan dalam kasus terburuk.”⁶¹

E. Database Koordinasi Dinamis: Sistem Akses Spektrum CBRS

Pada tahun 2015, FCC dengan suara bulat memutuskan untuk menciptakan Layanan Radio Broadband Warga yang baru untuk mengkoordinasikan akses berlisensi dan oportunistik baru ke spektrum yang tidak terpakai di pita 3550-3700 MHz. Peraturan CBRS memberikan wewenang untuk sertifikasi sistem koordinasi frekuensi yang bersaing – disebut Spectrum Access Systems (SAS) – untuk mengatur kerangka dinamis untuk pembagian spektrum di antara tiga lapis hierarki pengguna: pemegang lisensi incumbent (radar Angkatan Laut AS, FSS), Lisensi Akses Prioritas (PAL), dan pengguna General Authorized Access (GAA) yang oportunistik (dilisensikan berdasarkan aturan). Administrator SAS bertanggung jawab untuk memastikan layanan incumbent terproteksi sepenuhnya dari interferensi dan bahwa operator PAL juga terproteksi dari pengguna GAA. Berdasarkan jenis perangkat (tetap atau pribadi/portabel), informasi tentang lokasi pemancar dan parameter pengoperasian, serta aturan teknis yang diterapkan untuk memproteksi pengguna incumbent dari interferensi berbahaya, mesin penghitungan SAS menentukan daftar saluran yang tersedia di PAL dan /atau lokasi perangkat GAA dan daya radiasi maksimum yang diizinkan.

Tujuh PAL di setiap wilayah AS dilelang pada tahun 2020 dan menghasilkan \$4,58 miliar. Setiap PAL memberikan akses prioritas ke 10 MHz antara 3550 dan 3650 MHz. Saluran PAL ditetapkan secara dinamis, untuk memproteksi incumbent tier-1 (Angkatan Laut AS, FSS), sementara pengguna GAA beroperasi secara luas secara oportunistik. Tier GAA dilisensikan secara teknis berdasarkan aturan; operator harus mendaftar ke SAS. Namun GAA juga secara efektif tidak berlisensi dalam artian terbuka bagi siapa saja dan tidak memberikan proteksi terhadap interferensi, meskipun SAS memiliki kemampuan untuk mengoptimalkan koeksistensi antar pengguna. Pengguna GAA dapat beroperasi di seluruh 150 MHz dari pita 3,5 GHz pada frekuensi apa pun yang tidak digunakan oleh PAL, FSS, atau Angkatan Laut. FCC mensertifikasi beberapa operator SAS untuk beroperasi secara komersial pada awal tahun 2020, yang pada awalnya mengizinkan penggunaan pita tersebut secara oportunistik (GAA), diikuti dengan penerapan berlisensi setelah selesainya lelang untuk PAL pada akhir tahun yang sama.

Tidak seperti semua lelang sebelumnya untuk spektrum IMT penggunaan eksklusif, PAL menawarkan spektrum dengan proteksi interferensi di wilayah (kawasan) yang relatif kecil dan untuk “berbagai macam pengguna, model penerapan, dan kasus bisnis, termasuk beberapa solusi terhadap kebutuhan pasar yang tidak terlayani secara memadai oleh aturan konvensional kami yang berlisensi atau tidak berlisensi,” ucap FCC, termasuk ISP kecil di pedesaan, pengguna perusahaan dan industri.⁶² Sebagaimana dinyatakan dalam Perintah CBRS, tujuan regulator adalah untuk menyediakan kombinasi akses berlisensi dan oportunistik secara lokal, dan di bawah aturan teknis yang seragam, kepada ribuan operator jaringan potensial, termasuk ISP pedesaan, jaringan LTE pribadi, kompleks perkantoran, pabrik yang menyesuaikan jaringan mesin-ke-mesin, utilitas, bandara, pusat perbelanjaan, arena olahraga, kawasan sekolah, dan jaringan perguruan tinggi serta kampus lainnya.



Gambar 11: Koordinasi tiga lapis dalam Layanan Radio Broadband Warga 3550-3700 MHz.

Dengan akses spektrum yang langsung dan terjangkau, perusahaan dan lokasi dapat menggunakan jaringan lokal, termasuk solusi konektivitas yang disesuaikan dan diterapkan oleh pengguna akhir itu sendiri. Lelang untuk tujuh PAL di masing-masing wilayah AS mencerminkan keberagaman ini, mendapatkan \$4,6 miliar dari 228 pemenang lelang yang beragam – hampir 10 kali lipat jumlah pemenang lelang dibandingkan dengan lelang berikutnya untuk lisensi penggunaan eksklusif dengan area sangat luas di pita 3,45- pita 3,55GHz. Dengan mengotomatiskan akses terbuka terhadap kapasitas spektrum bersama dan terlokalisasi, sejumlah layanan baru telah bermunculan. Selain penambahan kapasitas di wilayah sasaran oleh jaringan seluler publik, dan penggunaan frekuensi ini oleh penyedia layanan Internet nirkabel (WISP) di pedesaan dengan penduduk yang kurang padat, berbagai jaringan swasta juga menggunakan pita CBRS. Dari bisnis hingga rekreasi, ratusan jaringan pribadi smart office, bandara, dan stadion telah dikerahkan menggunakan CBRS karena memiliki akses ke spektrum tanpa memerlukan lisensi individu.

Dalam kurun waktu kurang dari tiga tahun (per Februari 2023) lebih dari 310.000 CBRS base station telah tersebar di seluruh Amerika Serikat dan sebagian besar bergantung pada tingkat GAA yang dapat digunakan secara gratis. FCC telah mensertifikasi 187 model CBRS base station yang

berbeda dan 496 perangkat pengguna akhir yang berbeda, mulai dari smartphone tradisional dan modul IoT serta gateway hingga kamera keamanan, pemindai barcode, dan sensor manajemen gedung.⁶³ Contoh penerapan jaringan nirkabel pribadi menggunakan tingkat CBRS GAA meliputi:

- **Otomasi Pabrik:** John Deere, produsen agribisnis terkemuka, menggunakan CBRS untuk menganalisis data pola pengelasan guna melatih algoritma pengelasan terbaik untuk fabrikasi di masa mendatang, dan untuk melacak peralatan serta meningkatkan efisiensi operasional;
- **Utilitas dan Pelabuhan:** Pelabuhan Long Beach, California, menggunakan jaringan swasta untuk mendukung kendaraan berpemandu otomatis yang mengangkut kargo dan untuk meningkatkan logistik secara *real-time*;
- **Pendidikan:** Kawasan sekolah dan perpustakaan menggunakan spektrum GAA untuk menutup ‘kesenjangan pekerjaan rumah’ dengan menghubungkan keluarga siswa berpenghasilan rendah secara langsung ke jaringan sekolah;⁶⁴
- **Olahraga & Perhotelan:** National Football League menggunakan CBRS untuk menyediakan komunikasi yang aman antara pelatih dan pemain dan untuk melengkapi Wi-Fi di dalam stadion;

- **Smart City:** Kota Las Vegas dan NTT mengumumkan kemitraan untuk membangun jaringan 5G pribadi berbasis CBRS di seluruh kota sebagai platform terbuka untuk bisnis lokal;
- **Bandara:** Boingo memanfaatkan CBRS di O'Hare Chicago untuk solusi seluler pribadi guna menghubungkan perangkat IoT perusahaan dengan aman dan mendukung layanan penting di bandara.

CBRS: Kerangka Berbagi Tiga Lapis yang Dinamis

Incumbent utama adalah radar Angkatan Laut AS yang beroperasi terutama pada kapal-kapal yang secara berkala masuk dan keluar dari pelabuhan dan pangkalan angkatan laut, atau melintas cukup dekat dengan garis pantai AS sehingga tingkat kebisingan di jalur tersebut (interferensi agregat) merupakan perhatian operasional bagi militer. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12 di atas, incumbent lain mencakup sejumlah kecil stasiun bumi FSS dan jaringan telepon tetap nirkabel yang untuk sementara tidak lagi digunakan. Perangkat CBRS (CBSD) diharuskan untuk terus meminta izin dari SAS ("heartbeat") untuk terus beroperasi berdasarkan penetapan salurannya saat ini. Pemberian lisensi jangka pendek ini memungkinkan sistem koordinasi menjadi cukup dinamis untuk memproteksi radar Angkatan Laut yang bersifat mobile. Untuk memperhitungkan fakta bahwa sebagian besar radar Angkatan Laut beroperasi pada kapal yang sedang bergerak, kemampuan penginderaan lingkungan (ESC) – jaringan sensor spektrum di sepanjang garis pantai AS – mendeteksi penggunaan pita radar angkatan laut yang ada dan memperingatkan SAS untuk memindahkan operasi komersial terestrial baru ke saluran yang tidak mengganggu.

Dalam laporan bulan Desember 2022 tentang "pelajaran yang didapat" dari CBRS, Dewan Penasihat Teknologi (TAC) FCC menyatakan bahwa: "Meskipun sudah hampir tiga tahun beroperasi secara komersial, belum ada laporan interferensi dari CBRS terhadap incumbent yang terproteksi di band tersebut."⁶⁵ Departemen Pertahanan AS juga setuju bahwa SAS telah sepenuhnya memproteksi operasi radar Angkatan Laut AS. Dalam artikel pada bulan November 2022, pejabat Departemen Pertahanan Vernita Harris menyebut CBRS sebagai "situasi yang saling menguntungkan" karena "militer AS dapat terus menggunakan sistem radar penting sementara

pengguna komersial dapat memanfaatkan CBRS di berbagai sektor, mulai dari real estate, layanan kesehatan, hingga utilitas."⁶⁶

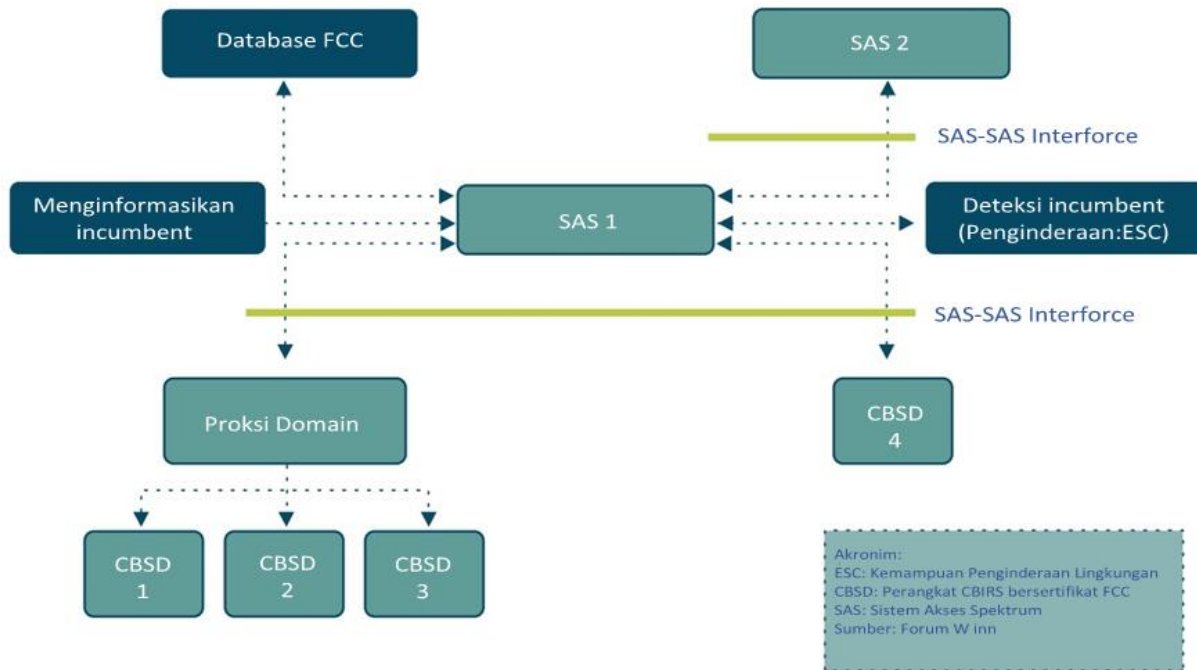
Harris melanjutkan dengan menyatakan bahwa "[dengan] penggunaan SAS, CBRS telah menghilangkan banyak pekerjaan padat karya, mengurangi peluang terjadinya kesalahan manusia, dan memungkinkan lebih dari 228.000 perangkat CBRS (per Mei 2022) untuk beroperasi dalam pita dan tidak mengganggu operasi Departemen Pertahanan." Sebagaimana disebutkan di atas, lebih dari 320.000 titik akses disebarkan pada awal tahun 2023.

TAC menyimpulkan bahwa salah satu kelemahannya adalah "sejumlah besar asumsi konservatif dimasukkan ke dalam kerangka proteksi CBRS (parameter propagasi, kriteria proteksi interferensi, dll.) sehingga efisiensi spektrum bersama yang optimal mungkin belum tercapai." Sebagai contoh, TAC mengutip ketergantungan pada Irregular Terrain Model (ITM) untuk memperkirakan kehilangan propagasi "tidak memperhitungkan atenuasi akibat clutter, seperti [dari] bangunan dan dedaunan, sehingga kehilangan propagasi sering kali diremehkan, dan diperkirakan tingkat interferensi terlalu tinggi."⁶⁷

Sifat dinamis dari kerangka koordinasi SAS belum pernah terjadi sebelumnya dalam sejumlah hal penting:

- **Hierarki berbagi tiga lapis**

FCC memutuskan, untuk pertama kalinya, untuk menawarkan akses dengan proteksi interferensi (PAL, yang dilelang) dan akses oportunistik (GAA) dalam pita yang sama. Sebagaimana diuraikan di atas, terdapat hierarki proteksi: SAS memproteksi incumbent terhadap semua pengguna akses bersama dan memproteksi penerapan PAL aktual dari pengguna GAA. Perangkat (baik untuk penggunaan PAL atau GAA) harus mampu beroperasi di seluruh frekuensi 150 MHz, suatu persyaratan penting dan fitur dinamis lainnya yang dibahas di sini. SAS dapat mengakomodasi potensi skala titik akses yang sangat besar – dan penggunaan kembali spektrum yang efisien – yang melekat pada pita sel kecil berdaya rendah yang dibutuhkan oleh operator seluler (untuk densifikasi jaringan) dan berbagai industri lainnya, ISP pedesaan, lokasi di dalam/luar ruangan (hotel, arena olahraga, gedung perkantoran) dan pengguna industri (untuk aplikasi IoT).



Gambar 12: Kerangka konseptual CBRS.

- **Input deteksi jaringan**

Secara khusus, militer setuju untuk berbagi pita, dengan tunduk pada kendali SAS dan kemampuan untuk mendeteksi radar mereka, meskipun terdapat kekhawatiran terkait interferensi dari tingkat kebisingan yang lebih tinggi dan pengungkapan lokasi kapal. ESC, sebuah jaringan sensor spektrum pesisir, memberikan SAS informasi *real-time* terkait radar angkatan laut di suatu saluran. Setiap sensor dikaitkan dengan zona perlindungan geografis yang luas dan tetap serta menyampaikan data penginderaan ke SAS. Otorisasi perangkat akan habis masa berlakunya setelah 300 detik, yang merupakan interval yang diperlukan mulai dari deteksi radar Angkatan Laut oleh ESC hingga saluran dimatikan oleh SAS (dan semua perangkat di saluran tersebut dalam kurun waktu 60 detik). Untuk mengatasi masalah keamanan, kerangka CBRS “mengaburkan lokasi sebenarnya dari radar angkatan laut, dengan mengorbankan... tidak termasuk area yang lebih luas dari yang diperlukan untuk memastikan proteksi.”⁶⁸ Dalam rekomendasinya, TAC FCC menyimpulkan bahwa meskipun ESC telah terbukti kompeten dalam mendeteksi aktivitas yang ada (misalnya

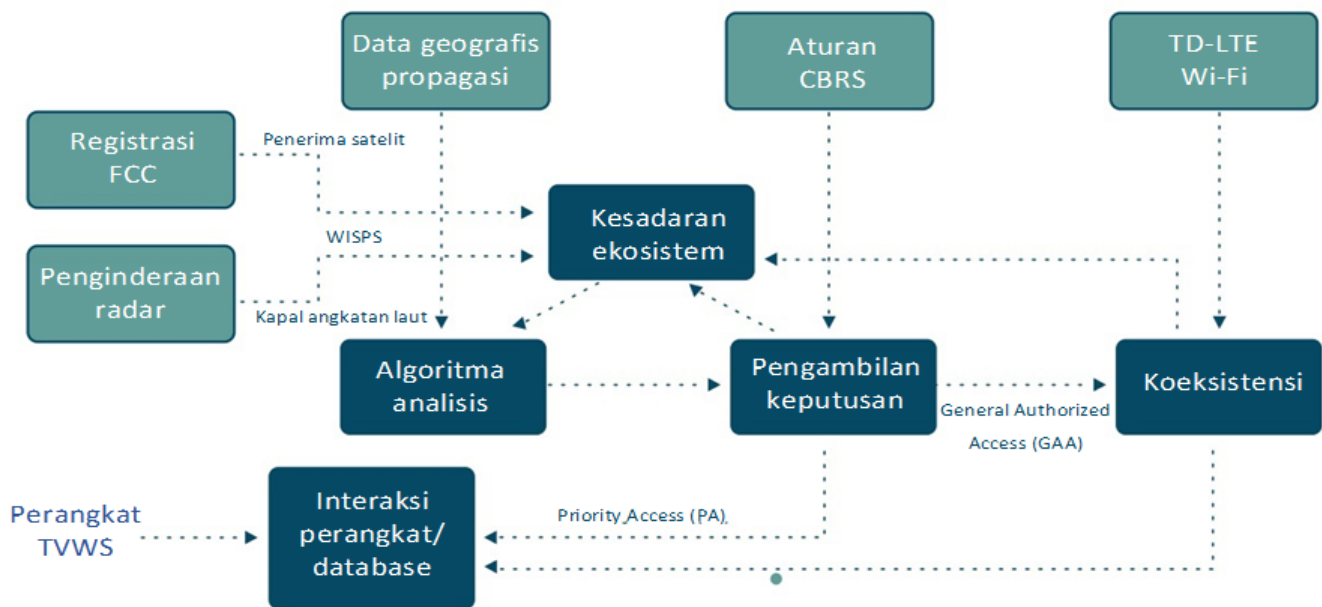
radar Angkatan Laut), “Mereka memiliki kelemahan besar yaitu berdampak negatif terhadap penggunaan CBRS di area yang berjarak hingga 80 km dari sensor.”⁶⁹ TAC merekomendasikan agar ketergantungan utama pada deteksi jaringan yang mirip dengan ESC dihindari, dan bahwa jenis Incumbent Informing Capability (IIC) – dimana incumbent melaporkan kegiatan atau kebutuhan mereka akan proteksi secara langsung ke DSMS – akan lebih akurat dan tidak bersifat preklusif.

- **Proteksi interferensi dinamis**

Sebagaimana disebutkan di atas, koordinasi database TVWS adalah perhitungan one-to-one yang statis. Apabila perangkat berada di luar kontur proteksi stasiun TV atau (dalam pita 6 GHz), di luar kontur proteksi gelombang mikro tetap, maka perangkat tersebut diotorisasi. Sebaliknya, sistem koordinasi frekuensi dinamis seperti SAS memperhitungkan fakta bahwa “masuknya node ke dalam ekosistem mengubah kondisi masuknya pendarat di masa mendatang.”⁷⁰ Setiap SAS, saat disinkronkan, diperbarui untuk memperhitungkan setiap pemberian izin baru atau penghentian izin transmisi.

Dengan menggunakan informasi ini, SAS dapat menghitung interferensi agregat dari pengguna komersial baru hingga pengguna incumbent dan menerapkan proteksi terhadap sistem ini. Secara signifikan, hal ini memberikan SAS kemampuan untuk mengelola interferensi agregat di wilayah geografis tertentu.

Kelemahan dari mengharuskan sistem koordinasi spektrum ganda untuk memperhitungkan interferensi agregat adalah bahwa berbagi data dan melakukan penghitungan setiap hari akan memerlukan sumber daya komputasi dan waktu yang cukup banyak untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, TAC FCC merekomendasikan untuk “meyerhanakan cara memperhitungkan interferensi agregat.”⁷¹



Gambar 13: Arsitektur sistem kontrol penerimaan untuk Sistem Akses Spektrum bersertifikasi FCC tiga lapis

- Akses oportunistik terhadap semua kapasitas yang tidak terpakai**
 Karena setiap SAS memiliki “peta” dari semua penerapan pada tujuh saluran PAL, maka SAS dapat memfasilitasi penggunaan spektrum PAL yang kosong oleh GAA di wilayah geografis yang terpisah berdasarkan basis “use-it-or-share-it”. Dalam pita (band) CBRS, lisensi (PAL) menjamin proteksi interferensi untuk node yang diberikan, namun tidak memberikan hak untuk mengecualikan pengguna oportunistik (GAA) ketika dan di mana spektrum tidak digunakan. Hal ini menghambat warehousing spektrum dan memastikan pita frekuensi digunakan seintensif mungkin, yang utamanya penting bagi wilayah pedesaan dan wilayah berpenduduk lebih sedikit di mana PAL mungkin belum sepenuhnya dibangun. Setiap titik akses PAL menyatakan

(atau menetapkan secara default) Area Proteksi PAL (PPA). SAS memastikan bahwa interferensi agregat pada batas PPA dari penggunaan PAL dan GAA lainnya tidak melebihi ambang batas berbahaya yang ditetapkan.⁷² Meskipun PAL dibatasi pada tujuh saluran 10 MHz, GAA diberikan wewenang di seluruh pita (150 MHz). Saat pemegang PAL mengaktifkan penetapan baru, otorisasi GAA apa pun saat ini dalam PPA node akan dihentikan.

- Optimalisasi koeksistensi untuk meningkatkan QoS**
 Karena SAS memiliki informasi akan daya pancar, bandwidth, dan karakteristik lain dari setiap CBSD yang diizinkan untuk beroperasi di area lokal, SAS memiliki kemampuan untuk melakukan penetapan kepada pengguna GAA yang akan mengoptimalkan kinerja dan meminimalisir interferensi timbal balik.

Seperti yang diamati oleh Preston Marshall dari Google, hal ini “dapat memberikan keyakinan lebih besar bahwa tingkat layanan yang wajar dapat terjamin . . . dan meminimalisir ‘keahlian’ apa pun dalam penggunaan spektrum.”⁷³

Hal ini sangat berbeda dengan koordinasi mandiri pada pita Wi-Fi tradisional, di mana koeksistensi yang kasar (tetapi tidak terencana) dibangun dalam kemampuan *listen-before-talk* dari perangkat; dan berbeda dengan koordinasi database TVWS dan 6 GHz AFC, di mana pengguna diberikan daftar saluran yang tersedia, melainkan harus melakukan koordinasi sendiri terkait dengan pengguna lain yang tidak berlisensi. Misalnya, jika 80 MHz tersedia untuk GAA secara lokal, dan dua pengguna masing-masing meminta 40 MHz, SAS dapat mengoptimalkan dengan menetapkan satu 3620-3660 MHz dan yang lainnya 3660-3700 MHz. Selanjutnya, apabila salah satu pengguna memiliki dua saluran PAL, SAS dapat (kecuali terdapat pertimbangan lain) menetapkan 60 MHz untuk satu pengguna (dari 3600 hingga 3660 MHz). Berdasarkan kebijaksanaannya, NRA dapat menjadikan ini sebagai fitur DSMS yang bersifat wajib atau sukarela (yang memiliki nilai tambah) dalam sebuah pita.

3. MANFAAT KOORDINASI FREKUENSI OTOMATIS

Sistem AFC memberikan manfaat besar bagi industri, regulator, dan konsumen. Dibandingkan dengan koordinasi manual atau bahkan dengan bantuan database, koordinasi frekuensi otomatis mempercepat akses terhadap spektrum, mendorong penggunaan yang lebih intensif, memberikan proteksi yang lebih baik kepada pemegang lisensi incumbent, menurunkan biaya bagi operator dan NRA, memastikan hasil yang konsisten, memperhitungkan dengan cepat perubahan penggunaan pita frekuensi atau perubahan peraturan NRA, memantau penggunaan spektrum, dan dapat membantu NRA dalam pendekatan ex-ante dan ex-post.

A. Manfaat bagi Industri, Konsumen dan Perekonomian

i. Memperluas kapasitas dan efisiensi spektrum untuk memenuhi permintaan yang melonjak

Konektivitas nirkabel, seperti halnya listrik, merupakan input penting bagi sebagian besar kegiatan ekonomi dan dengan cepat menjadi

semakin meluas. Permintaan terhadap data nirkabel seluler dan jaringan telepon meningkat, sementara di sebagian besar negara hanya ada sedikit, jika ada, pita spektrum yang diinginkan, yang belum ditetapkan dan digunakan untuk berbagai keperluan pribadi dan publik. Total traffic internet meningkat secara substansial setiap tahunnya dan beralih secara tidak proporsional ke perangkat nirkabel. Sebagaimana ditunjukkan pada grafik di bawah, survei global Cisco mengenai traffic internet telah lama memperkirakan pertumbuhan yang berkelanjutan dari tahun ke tahun sebesar 30%, dengan hampir 80% dari seluruh traffic internet mengalir melalui jaringan seluler (22%) atau jaringan Wi-Fi (57%) pada tahun 2022.⁷⁴ Cisco memproyeksikan bahwa penerapan 5G yang lebih luas hanya akan meningkatkan porsi traffic perangkat seluler yang dialihkan ke jaringan tetap melalui RLAN dan Wi-Fi. Globally, Secara global, Cisco memproyeksikan akan ada hampir 550 juta hotspot Wi-Fi publik pada tahun 2022, meningkat dari 124 juta hotspot pada tahun 2017, yang merupakan peningkatan empat kali lipat.⁷⁵

Akibatnya, studi industri terus menunjukkan adanya defisit besar dalam ketersediaan spektrum berlisensi dan tidak berlisensi. Sebuah studi yang dilakukan oleh Wi-Fi Alliance memproyeksikan kekurangan spektrum tidak berlisensi antara 500 MHz dan 1 GHz pada tahun 2025,⁷⁶ sementara laporan dari CTIA, asosiasi industri nirkabel AS, menyatakan bahwa “traffic nirkabel per lokasi ‘diproyeksikan akan tumbuh sebesar 343%’ – yang semuanya harus siap diserap oleh spektrum tambahan.”⁷⁷ Meskipun sebagian besar spektrum telah dialokasikan kembali pada pita gelombang milimeter di atas 24 GHz, khususnya di AS, spektrum pita menengah dan rendah yang lebih bernilai semuanya ditetapkan dan digunakan oleh berbagai macam operasi penting di banyak negara. Bahkan pada pita-pita di mana incumbent dapat direlokasi, di AS, pembukaan pita untuk realokasi dan penetapan melalui lelang membutuhkan waktu rata-rata 8,4 tahun – dan 13 tahun agar spektrum yang dialokasikan ulang benar-benar digunakan untuk penggunaan seluler yang eksklusif.⁷⁸

Meskipun sebagian besar permintaan terfokus pada jaringan operator seluler dan penggunaan Wi-Fi di dalam ruangan, pertumbuhan jaringan wireless merupakan pendorong permintaan lainnya yang juga penting untuk memperluas akses Internet berkecepatan tinggi di daerah pedesaan dan wilayah berpenduduk lebih sedikit di mana penyaluran fiber optik ke rumah atau bisnis tidaklah ekonomis.

Penerapan PtP dan PtMP di luar ruangan pada pita-pita bersama dan tidak berizin menjadi semakin penting untuk memperluas internet berkapasitas tinggi ke wilayah-wilayah ini dan untuk memberikan alternatif dari kabel telekomunikasi yang lebih mahal di wilayah lain. Ericsson memproyeksikan bahwa terdapat setidaknya 100 juta koneksi akses wireless tetap (FWA) pada akhir tahun 2022, jumlah ini akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2028, mencapai lebih dari 300 juta dan 17% dari total langganan broadband tetap.⁷⁹

Namun, meskipun terdapat kebutuhan akan PTMP berkapasitas tinggi di wilayah dimana koneksi kabel

tidak memadai atau tidak ekonomis, hanya terdapat sedikit spektrum pita rendah atau menengah yang tersedia kecuali pada pita dimana penggunaannya berpotensi dapat dikoordinasikan dengan perusahaan incumbent (seperti pemegang lisensi FSS) yang dapat terproteksi dari interferensi. Meskipun semakin banyak pelanggan FWA yang akan dilayani oleh jaringan seluler 5G pada pita berlisensi eksklusif milik operator tersebut, ribuan WISP, fiber optik, dan ISP wireline lainnya (seperti perusahaan internet kabel yang beroperasi sebagai MVNO yang mengutamakan Wi-Fi) memerlukan akses spektrum mereka sendiri untuk melengkapi dan meningkatkan kualitas layanan.



Gambar 14: Meskipun traffic internet terus bertumbuh pesat, tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) yang tertinggi adalah konektivitas Wi-Fi pada perangkat seluler.⁸⁰

Mengingat permintaan kapasitas spektrum yang terus meningkat pesat di antara semakin banyaknya operator seluler, jaringan tetap, tidak berizin, dan jaringan perusahaan, cukup jelas bahwa DSMS dapat menjadi alat penting yang memberikan manfaat penting bagi industri, konsumen, dan perekonomian yang lebih luas karena beberapa alasan utama:

Pertama, koordinasi frekuensi otomatis mendorong penggunaan sumber daya publik secara lebih intensif

dan efisien. Perlu diingat bahwa, secara umum, yang langka adalah akses spektrum, bukan kapasitas spektrum. Meskipun banyak penggunaan spektrum prima yang sudah baik untuk melayani kebutuhan esensial publik— seperti penyiaran, distribusi video satelit, dan radar militer — hanya sebagian kecil dari keseluruhan kapasitas pembawa data dari banyak pita yang digunakan berdasarkan frekuensi, geografis, terarah, atau temporal.

Kedua, dibandingkan dengan melonjaknya permintaan akan data nirkabel, memanfaatkan DSMS untuk membuka kapasitas yang tidak aktif, sekaligus menghindari interferensi terhadap incumbent, adalah hal yang paling mendekati spektrum ‘free lunch’ bagi bisnis dan konsumen yang mencari konektivitas berbiaya rendah. Membuka akses terhadap spektrum yang kosong dan memfasilitasi penggunaan kembali spektrum membuat biaya konektivitas nirkabel lebih terjangkau, sehingga meningkatkan kesejahteraan konsumen baik secara langsung (lebih banyak data dengan harga tertentu) dan secara tidak langsung dengan meningkatkan produktivitas bisnis yang mengandalkan data nirkabel. Contoh saat ini mencakup layanan berbasis cloud, yang untuk aplikasi seluler memerlukan koneksi yang hampir ada di mana-mana dan kuota data yang relatif murah.

Ketiga, Kemajuan dalam koordinasi frekuensi dinamis menawarkan potensi yang jauh lebih besar untuk membuat bandwidth melimpah. Sebagian besar koordinasi dan pembagian spektrum hingga saat ini berfokus pada koordinasi penggunaan spektrum yang kosong secara lokal. Namun, seiring dengan dinamisnya database koordinasi frekuensi, kemajuan teknologi dan teknik yang memadai memberikan pilihan kepada regulator untuk meningkatkan efisiensi ini. Sebagaimana dibahas secara lebih terperinci di bawah ini (Bagian 5), database koordinasi yang menggabungkan rincian dunia nyata terkait medan, clutter (pohon, bangunan), dan kumpulan data GIS lainnya yang menghilangkan kebutuhan akan asumsi terburuk mengenai interferensi akan memungkinkan penggunaan spektrum yang jauh lebih intensif. Sistem AFC juga dapat, pada banyak band, ditingkatkan dengan input real-time dari jaringan penginderaan spektrum dan/atau perangkat yang melakukan crowdsourcing terhadap lingkungan spektrum lokal. AI dan pembelajaran mesin-ke-mesin kemungkinan akan semakin meningkatkan kinerja.

ii. Melindungi operasi incumbent dari interferensi

Prinsip dasar pembagian spektrum dinamis adalah bahwa proses koordinasi harus memiliki dampak yang kecil, jika ada, terhadap sistem yang ada. Oleh karena itu, manfaat mendasar dari pengelolaan spektrum dinamis adalah proteksi *ex-ante* yang konsisten terhadap operasi incumbent, serta kemampuan untuk memulihkan interferensi apa pun yang diakibatkannya. Sebagaimana diungkapkan oleh Preston Marshall dari Google, fokus koordinasi

frekuensi dinamis adalah “memprediksi, dan menghindari, kemungkinan interferensi, alih-alih mendeteksi dan memitigasi kondisi tersebut.”⁸¹ Tentu saja, koordinasi database bergantung pada pelaporan lokasi dan karakteristik penerima yang akurat kecuali dalam situasi (seperti radar Angkatan Laut di CBRS) di mana penginderaan spektrum memberikan SAS proksi secara *real-time* untuk informasi lisensi tersebut.⁸² Sebaliknya, pada kelompok dimana kegiatan incumbent bersifat periodik atau berpindah-pindah, *incumbent informing capability* (IIC) mungkin lebih baik (hal ini diuraikan pada Bagian 5 di bawah).

Selama peraturan mengharuskan – dan sistem manajemen spektrum otomatis diterapkan – tidak adanya interferensi, maka biaya yang harus ditanggung incumbent, jika ada, hanya sedikit. Incumbent tidak serta merta dibatasi untuk memperluas atau mengubah lokasi atau penggunaan frekuensinya, seperti halnya dengan pendekatan pengecualian. Dalam kasus TVWS, misalnya, penggunaan database otomatis (TVDB) tidak hanya melindungi penonton TV over-the-air, namun juga hampir secara langsung mengakomodasi lisensi stasiun TV baru, atau perpindahan stasiun dari satu saluran atau lokasi menara ke saluran atau menara lainnya. Secara umum, pemodelan propagasi radio sudah baik dan dengan cepat menjadi lebih granular karena data GIS yang sangat rinci mengenai medan, clutter, dan faktor lainnya meningkatkan algoritma yang digunakan oleh database spektrum untuk menegakkan kepatuhan terhadap aturan proteksi interferensi.

Keunggulan dalam pita frekuensi bersama sangat bernilai bagi incumbent dalam pita frekuensi yang bernilai rendah, menurun, atau kurang intensif penggunaannya, dimana pemanfaatan spektrum yang terus-menerus mungkin tidak berkelanjutan secara politik atau ekonomi. Misalnya, ketika Kongres AS mewajibkan lelang pita 700 MHz, stasiun TV dikeluarkan dari pita tersebut dan dipindahkan ke bawah 698 MHz. Meskipun relokasi incumbent tetap menjadi pilihan yang layak di beberapa kelompok, di kelompok lain pembagian – dan khususnya jenis pembagian intensif yang dimungkinkan oleh DSMS – menghilangkan argumen bahwa pita tersebut kurang dimanfaatkan.⁸³ Dalam kasus CBRS, Angkatan Laut dan militer AS secara lebih luas beralih dari oposisi ke dukungan umum untuk pembagian pita menggunakan DSMS karena mereka merasakan meningkatnya tekanan untuk merelokasi atau memampatkan operasi ke spektrum yang lebih sedikit, yang mereka anggap sebagai alternatif yang lebih mahal dan mengganggu jika dibandingkan.

Tentu saja, selalu ada risiko kegagalan dalam sistem koordinasi, atau pada masing-masing perangkat, yang dapat menimbulkan interferensi berbahaya. Meskipun risiko campur interferensi tidak pernah ada atau tidak akan ada sama sekali, tren teknis dan peraturan bergerak bersamaan untuk meminimalkan dan dengan cepat memulihkan skenario tersebut. Salah satu pendekatan regulasi, yang diadopsi untuk TVWS dan untuk memfasilitasi pengelolaan AFC atas pembagian tanpa lisensi di pita 6 GHz, adalah persyaratan bahwa pengguna mendaftarkan lokasi dan karakteristik teknis dari setiap titik akses, bahwa perangkat pengguna akhir yang tidak terdaftar harus berada di bawah kendali Titik Akses tersebut, dan bahwa lisensi untuk melakukan transmisi harus diperbarui oleh database pada interval yang ditentukan (umumnya setiap 24 jam), yang memungkinkan pengguna atau perangkat mana pun dinonaktifkan dengan cepat. Pendekatan lain, yang dimasukkan dalam peraturan CBRS, memungkinkan operator satelit di pita 3700-4200 MHz untuk melaporkan setiap interferensi di luar pita secara langsung ke administrator SAS (database) sebagai 'backstop' terhadap proses otomatis yang dilakukan sebelumnya.⁸⁴

Singkatnya, tidak seperti pembagian tanpa lisensi tradisional (misalnya, di antara pengguna Wi-Fi pada frekuensi 2,4 GHz), penerapan database dinamis memungkinkan regulator untuk meninjau kembali dan merevisi aturan yang berlaku untuk pengoperasian perangkat yang terpasang. DSMS memberikan fleksibilitas untuk mengubah kriteria dan algoritma proteksi, sehingga memungkinkan regulator merespons pengalaman dan data dunia nyata dari waktu ke waktu tanpa menanggung risiko bahwa perangkat tidak dapat ditarik kembali.

iii. Menurunkan biaya konektivitas bagi penyedia

Pada tingkat yang paling umum, penggunaan kembali spektrum yang lebih banyak dan berlimpahnya bandwidth akan menurunkan biaya konektivitas seluler dan nirkabel tetap – bagi konsumen dan sebagai input produksi bagi industri lainnya. Selain meningkatkan pasokan spektrum secara keseluruhan – sehingga mengurangi biaya bandwidth – DSMS dapat menurunkan biaya transaksi dan penundaan yang terkait dengan mekanisme yang lebih tradisional, termasuk lelang, koordinasi manual, dan transaksi pasar sekunder.

Ketika ekosistem nirkabel bertransisi dari fokus pada cakupan area luas menjadi fokus pada kapasitas lokal, jumlah titik akses akan meningkat berkali-kali lipat. Pada pita frekuensi yang lebih tinggi, dimana saluran yang lebar memungkinkan kapasitas yang lebih besar, penerapan yang paling intensif dan efisien akan bergantung pada sel yang kecil. Pada beberapa pita, hal ini mungkin disebabkan oleh pilihan regulasi (seperti yang dilakukan FCC dengan CBRS dan pada frekuensi 6 GHz untuk memproteksi jaringan tetap) atau dari pilihan operator berdasarkan karakteristik propagasi dan kebutuhan untuk memperkuat jaringan yang ada. Pada pita frekuensi bersama, penskalaan ini hanya dapat dicapai secara hemat biaya melalui proses otomatis yang tidak melibatkan penghitungan manual, pengambilan keputusan berdasarkan peraturan, atau politik.

Menurunkan biaya transaksi untuk akses spektrum akan menurunkan hambatan masuk, sehingga mendorong persaingan, inovasi dan pilihan konsumen. Manfaat ini semakin besar ketika koordinasi frekuensi otomatis memfasilitasi akses berbiaya rendah ke spektrum bernilai pada basis yang sangat terlokalisasi dan/atau wilayah kecil, seperti dijelaskan lebih lanjut di bawah.

Manfaat lain dari koordinasi otomatis adalah pengurangan waktu penerapan secara signifikan, termasuk waktu time-to-market untuk inovasi baru, ditambah dengan peningkatan fleksibilitas operasional. Secara tradisional, akses terhadap spektrum berlisensi memerlukan investasi modal awal yang besar seperti lelang,⁸⁴ atau kombinasi koordinasi manual dan peraturan yang relatif mahal berdasarkan lokasi per lokasi (misalnya, untuk mengoordinasi penerapan FS dan FSS). Sebaliknya, proses koordinasi yang otomatis, fleksibel (dinamis) dan berbiaya sangat rendah dapat memfasilitasi ekosistem nirkabel yang lebih gesit dan kuat sekaligus menurunkan biaya konektivitas secara keseluruhan.

iv. Mendorong akses spektrum langsung untuk inovasi dan produktivitas

DSMS secara khusus berguna untuk mengoordinasikan akses yang sangat terlokalisasi terhadap kapasitas spektrum yang tidak terpakai. Kebutuhan untuk memproteksi operasi incumbent di pita bersama biasanya berarti bahwa spektrum tidak akan tersedia di wilayah yang luas.

Operator seluler menolak pembagian pita karena alasan ini: model bisnis mereka didasarkan pada cakupan wilayah yang sangat luas dan efisiensi yang berasal dari kendali eksklusif atas suatu pita. Akibatnya, perusahaan lain yang ingin menyebarkan jaringan pada basis yang lebih terlokalisasi atau tertarget umumnya harus membeli layanan yang ditawarkan oleh operator atau, lebih sering lagi, menggunakan spektrum yang tidak berlisensi. Namun, ketika suatu pita dialokasikan terutama untuk kapasitas (bukan cakupan wilayah yang luas) – dan khususnya ketika pemegang lisensi incumbent akan mempertahankan status primer dan memerlukan proteksi – pembagian yang terkoordinasi akan memberikan pelayanan terbaik bagi kepentingan publik.

Koordinasi frekuensi yang dinamis, baik karena kebutuhan (untuk proteksi incumbent) maupun karena disengaja (untuk mendorong akses yang lebih luas), memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menyediakan akses langsung ke spektrum bersama untuk beragam perusahaan bisnis, ISP kecil, fasilitas infrastruktur penting, lokasi, lembaga publik, dan entitas lainnya. Keuntungannya adalah broadband pedesaan, IoT industri, jaringan LTE pribadi, aplikasi smart city, dan inovasi lainnya dapat diujicobakan, disesuaikan, dan diterapkan secara lokal oleh berbagai perusahaan bisnis dan lembaga pendukung komunitas.

Kemampuan untuk mengoordinasikan akses spektrum secara cepat dan murah secara lokal dan bahkan sementara (atau temporal) akan semakin bermanfaat dalam perekonomian 5G/IoT dimana konektivitas data nirkabel akan diasosiasikan dengan hampir semua sistem, lokasi dan perangkat – dan dimana ribuan perusahaan dan penyedia layanan akan memiliki kebutuhan dan permintaan akan jaringan yang disesuaikan. Misalnya saja, meskipun sel-sel kecil di luar ruangan mungkin merupakan penggunaan terbaik dari akses terkoordinasi di pusat perkotaan atau pinggiran kota, di luar itu mungkin merupakan backhaul, sementara pita tersebut secara bersamaan dapat mendukung jaringan area lokal dan kasus penggunaan di dalam ruangan yang berdaya sangat rendah.⁸⁵ Layanan Radio Broadband Warga tiga lapis, yang diuraikan di atas, adalah contohnya.

B. Manfaat bagi Regulator: Koordinasi dan Penegakan Otomatis

Sistem koordinasi frekuensi otomatis kemungkinan besar, seiring berjalannya waktu, akan memungkinkan NRA menggunakan kapasitas spektrum yang jauh lebih besar dengan sedikit atau tanpa peningkatan sumber daya lembaga.

Manajemen basis data yang dinamis dapat memberi regulator kendali yang lebih besar atas pembagian pita frekuensi, alat pelaksanaan yang lebih baik, kemampuan yang lebih besar untuk memantau penggunaan, dan pilihan untuk melakukan outsourcing pengembangan teknis dan operasi kepada pemangku kepentingan – dan semuanya dengan tetap mempertahankan otoritas tertinggi, fleksibilitas peraturan, dan bahkan kemampuan untuk memungut biaya.

i. Alat Penerimaan dan Penegakan yang Otomatis dan Skalabel

Regulator dapat memilih untuk membuat atau mengizinkan sistem koordinasi frekuensi otomatis untuk melakukan satu atau semua fungsi berikut dalam skala besar dan dengan biaya rendah atau tanpa biaya bagi lembaga itu sendiri:

- Mengumpulkan, mengambil, dan secara teratur memperbarui informasi yang ada dari catatan lisensi lembaga atau sebagaimana ditentukan oleh peraturan NRA;
- Menghitung kontur proteksi dan algoritma lainnya dengan menerapkan aturan NRA;
- Verifikasi bahwa semua perangkat yang terdaftar telah disertifikasi sesuai dengan aturan NRA;
- Mendaftarkan perangkat dan jaringan yang terverifikasi, mencatat semua data yang diperlukan tentang identitas pengguna, lokasi, jenis perangkat, parameter pengoperasian;
- Mesin perhitungan: menerapkan algoritma obyektif untuk memberikan atau menolak permintaan lisensi selama jangka waktu berapa pun yang ditentukan dalam aturan NRA;⁸⁷
- Mengoptimalkan koeksistensi di antara pengguna sekunder, jika relevan, berdasarkan aturan NRA;
- Memungut segala biaya penggunaan atau regulasi yang diizinkan atau diwajibkan oleh NRA;
- Mengumpulkan data dan melaporkan penggunaan sebenarnya dari pita tersebut, serta anomali apa pun yang mungkin menjadi masukan bagi tindakan regulasi di masa mendatang;⁸⁸
- Menjaga kemampuan untuk mengidentifikasi dan mematikan perangkat atau penyedia jika terjadi interferensi darurat yang berbahaya;
- Menyesuaikan parameter penerimaan atau pengoperasian perangkat secara dinamis (sebagai respons, misalnya, melampaui ambang batas interferensi agregat di suatu wilayah geografis);
- Menyediakan portal bagi incumbent dan/atau pengguna untuk melaporkan koreksi atau pembaruan data perizinan, parameter operasi, atau untuk melaporkan insiden interferensi;
- Mengatasi kasus di mana akses frekuensi atau aturan pengoperasian berbeda di antara negara-negara tetangga (misalnya, perbedaan aturan RLAN 5,8 GHz di seluruh negara UE).⁸⁹

Meningkatnya kebutuhan untuk mengakomodasi permintaan yang terus meningkat, ukuran sel yang lebih kecil, dan penyebaran jaringan lokal yang lebih luas oleh beragam pengguna akan mendorong NRA untuk lebih banyak berbagi pita yang kurang termanfaatkan. Ketika hal ini terjadi, mengandalkan koordinasi manual atau mempekerjakan staf yang diperlukan untuk memikul seluruh fungsi yang disebutkan di atas menjadi tidak praktis bagi regulator. Bahkan jika memungkinkan, akan jauh lebih cepat dan hemat biaya jika mengandalkan sistem otomatis dan memfokuskan sumber daya lembaga pada kegiatan yang bernilai tambah lebih tinggi.

Sistem manajemen spektrum dinamis juga menciptakan kemampuan untuk memantau dan memberikan bantuan pelaksanaan yang biasanya tidak dimiliki oleh NRA, khususnya yang berkaitan dengan pita frekuensi bersama. Seperti yang disarankan oleh ECC sehubungan dengan database pita TV, NRA dapat mendapatkan manfaat dari “kebutuhan akan fungsi manajemen interferensi khusus dari database.”⁹⁰ Laporan ECC 236 menyatakan bahwa di Inggris, Ofcom mengharuskan penyedia WSDB untuk memasukkan sistem informasi yang memungkinkan Ofcom untuk “melihat lokasi dan saluran yang digunakan oleh perangkat WS kapan saja.” Ofcom juga mewajibkan WSDB untuk mempertahankan fungsi ‘kill switch’ yang memungkinkan lembaga tersebut untuk “mematikan perangkat WS apa pun dalam waktu singkat” atas perintah lembaga.⁹¹ Di AS, sistem koordinasi yang mengelola CBRS dan operasi berdaya standar di 6 GHz secara efektif memiliki kemampuan yang sama karena Titik Aksesnya terdaftar di lokasi tertentu. Pada pita frekuensi yang penggunaannya prioritasnya memerlukan proteksi tingkat tinggi, kedua fitur ini memberikan tingkat visibilitas dan kontrol yang tidak dimiliki oleh regulator dibandingkan pita frekuensi tradisional yang tidak memiliki lisensi.

Terakhir, DSMS dapat digunakan untuk mengoptimalkan koeksistensi di antara pengguna yang diberikan akses bersama ke suatu pita. Karena sistem koordinasi frekuensi memiliki kesadaran terhadap lingkungan spektral di setiap lokasi, selain untuk sekadar menentukan legalitas pengoperasian, sistem ini juga dapat meminimalkan interferensi di antara semua pengguna (baik yang berlisensi maupun tidak, bergantung pada aturan NRA). Misalnya, berdasarkan peraturan AS untuk CBRS, pengguna yang diberikan akses oportunistik (GAA) sebenarnya tidak berlisensi dan tidak berhak atas proteksi interferensi apa pun.

Namun, tidak seperti pita tanpa lisensi yang tidak dikelola, SAS dapat membuat penetapan menggunakan algoritma yang berupaya mengoptimalkan koeksistensi beberapa pengguna GAA, sehingga mengakomodasi jumlah penggunaan terbesar dari segmen pita GAA (80 MHz), serta saluran lokal yang kosong di bagian berlisensi (PAL) berdasarkan penggunaan atau pembagian.⁹²

ii. Koordinasi dapat didelegasikan sementara NRA tetap memegang wewenangnya

Salah satu manfaat besar dari koordinasi frekuensi berbasis database, dari sudut pandang regulator, adalah bahwa proses koordinasi dapat dialihdayakan sementara NRA tetap memiliki wewenang atas peraturan yang diterapkan, termasuk opsi untuk mengubahnya di masa mendatang. Pendekatan ini mempertahankan otoritas penuh NRA, melestarikan sumber daya lembaga, mendorong skalabilitas dan inovasi sektor swasta, serta mengurangi risiko kegagalan regulasi. Lebih jauh lagi, seperti yang dilakukan FCC setelah mengadopsi CBRS, rancangan dan rincian operasional sistem koordinasi itu sendiri dapat didelegasikan kepada kelompok multi-stakeholder yang terdiri dari perusahaan dan individu dengan keahlian dan motivasi untuk mengoperasionalkan peraturan dan tujuan tingkat tinggi yang diadopsi oleh NRA.⁹³ Bahkan jika NRA mengembangkan dan mengoperasikan proses database otomatis secara internal, hal ini akan tetap meningkatkan skalabilitas, konsistensi dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan pendekatan manual atau pendekatan kasus per kasus untuk mengkoordinasikan penetapan dalam pita bersama.

Dalam laporan yang memberikan panduan bagi implementasi NRA sehubungan dengan kerangka regulasi untuk berbagi database geolokasi TVWS, ECC UE menjelaskan pro dan kontra dari tiga opsi untuk penerapan fungsi koordinasi database yang juga dapat diterapkan pada pita lainnya:

- NRA mengembangkan dan mengelola database “seperti sistem perizinan online.
- NRA melakukan alih daya (outsourcing) operasi tersebut kepada kontraktor lembaga, dan menetapkan secara rinci tugas-tugas yang akan dilaksanakan oleh administrator.
- NRA memenuhi syarat dan memberi wewenang kepada penyedia database komersial yang dapat bersaing dan memungut biaya dari pengguna untuk mengimbangi biaya mereka.⁹⁴

Laporan ini menekankan bahwa regulator dapat memilih kerangka yang paling sesuai dengan situasi mereka. Laporan ini menyimpulkan bahwa, jika memungkinkan, “persaingan antar penyedia database akan bermanfaat bagi pengguna akhir, karena kemungkinan besar akan mendorong inovasi dan memberikan lebih banyak pilihan kepada pengguna.”⁹⁵ Laporan ini juga menyimpulkan bahwa meskipun model database monopoli “mungkin memiliki beberapa manfaat efisiensi,” termasuk kemungkinan untuk memulihkan biaya-biayanya, “model dengan banyak penyedia akan memiliki risiko kegagalan regulasi yang lebih rendah karena NRA tidak akan berusaha memilih satu-satunya pemasok untuk pasar yang baru lahir.”⁹⁶

Di Amerika Serikat, perlu diperhatikan bahwa FCC telah beralih hampir seluruhnya ke kerangka sertifikasi operator database komersial pesaing. Sebagai contoh, lembaga tersebut pernah memberi wewenang kepada asosiasi industri (misalnya, American Hospital Association) untuk mengoordinasikan penggunaan spektrum telemetri medis bersama di antara rumah sakit, baru-baru ini FCC memberi wewenang kepada penyedia database komersial pesaing untuk mengoordinasikan akses bersama di TVWS, CBRS, pada pita sambungan gelombang mikro 70/80/90, dan pada pita 6 GHz untuk penggunaan tanpa lisensi di luar ruangan atau berdaya standar. Tentu saja, pasar AS yang besar berada dalam posisi yang jauh lebih baik untuk mendukung penyedia DSMS yang bersaing. Khususnya pada tahap awal, NRA mungkin akan memutuskan untuk memilih satu DSMS untuk periode awal dan kemudian melakukan penilaian ulang.

Selain mencapai skalabilitas dan konsistensi tanpa menguras anggaran regulasi NRA yang terbatas, regulator juga dapat mengurangi waktu dan biaya dalam mengadopsi peraturan dan mengawasi pelaksanaannya dengan memanfaatkan sumber daya dari luar. Peraturan pemodelan mungkin tersedia untuk pita yang telah dirintis oleh negara lain. Misalnya, untuk TV White Space, Dynamic Spectrum Alliance telah menerbitkan aturan pemodelan yang dapat dengan mudah disesuaikan dengan kondisi lokal.⁹⁷ Sehubungan dengan pita 6 GHz, inisiatif Open AFC yang dipimpin oleh Broadcom, Meta dan Cisco (dijelaskan lebih lanjut di bawah) akan memungkinkan NRA dan operator AFC baru di negara lain untuk mengadaptasi kerangka open-source yang sesuai dengan peraturan negara mereka dan kebutuhan proteksi yang ada.⁹⁸

Strategi lainnya adalah dengan mengadopsi peraturan tingkat tinggi dan mendorong industri – termasuk incumbent dan pendatang baru – untuk terlibat

dalam proses konsensus untuk mengembangkan dan merekomendasikan panduan implementasi yang lebih rinci untuk kerangka pembagian yang baru. Seperti peraturan NRA, output dari proses multi-stakeholder harus mendapat persetujuan akhir dari lembaga tersebut dan senetral mungkin terkait teknologi. The FCC memanfaatkan pendekatan ini (yang dilakukan melalui dua asosiasi industri yang berbeda) untuk memanfaatkan keahlian dan konsensus dalam pengembangan standar teknis untuk implementasi manajemen SAS CBRS dan, baru-baru ini, AFC akan mengatur operasi RLAN luar ruangan dan berdaya standar pada 6 GHz.

iii. Memberi regulator lebih banyak visibilitas dan kontrol atas pembagian pita frekuensi

Proses koordinasi berbasis database dapat memberi regulator visibilitas unik terhadap penggunaan pita frekuensi, memungkinkan NRA memilih untuk memantau atau mengumpulkan data mengenai pola penyebaran, kasus penggunaan, penempatan berdasarkan geografi, insiden mitigasi interferensi, atau sejumlah variabel lainnya. Karena pengalaman terkait berbagi pakai yang dinamis masih terbatas, visibilitas terhadap hasil aktual – dikombinasikan dengan kewenangan mereka untuk mengubah aturan dan algoritma yang diterapkan oleh operator database – harus memberikan kepercayaan diri kepada regulator bahwa mereka dapat bergerak maju dengan parameter pembagian yang kuat dan memiliki wawasan serta kemampuan untuk menyesuaikan kriteria pembagian sesuai kebutuhan. Koordinasi dinamis database juga memungkinkan regulator untuk mengadopsi kriteria proteksi yang ada yang lebih netral terhadap layanan dan teknologi, yang memungkinkan operator atau produsen jaringan (OEM) memiliki fleksibilitas yang lebih besar untuk memenuhi kriteria proteksi interferensi (misalnya, kemampuan ‘kill-switch’ atau tingkat interferensi agregat) melalui teknik yang bervariasi dan inovatif.

Secara umum, DSMS berbasis database yang mengharuskan setiap perangkat memperbarui otorisasinya secara berkala memberikan regulator kontrol dan fleksibilitas yang diperlukan untuk mengubah aturan, prioritas pita, dan bahkan alokasi pita tanpa hambatan yang membuat perangkat atau infrastruktur menjadi usang. Perubahan aturan dan masukan (misalnya, peningkatan data GIS) dapat diimplementasikan melalui perangkat lunak. Selama perangkat diharuskan mampu secara otomatis mengubah tingkat daya dan parameter operasi lainnya sebagai respons terhadap otorisasi database terbaru, regulator dapat menyesuaikan lingkungan spektral pita seiring waktu. Zona proteksi dapat dikurangi atau

diperbesar, batas interferensi agregat dapat dibatasi, batasan daya atau bahkan batasan waktu dapat diubah.

Pengendalian berkelanjutan atas kriteria penerimaan pita dan parameter operasi juga dapat digunakan untuk beralih dari waktu ke waktu, dari batasan yang lebih konservatif dan terlalu protektif, pada penggunaan baru untuk penggabungan data atau teknologi baru yang memungkinkan penggunaan pita secara lebih intensif. Contohnya adalah kemampuan regulator untuk menggabungkan data GIS dan lokasi yang lebih akurat dari waktu ke waktu. Ketika FCC awalnya mensertifikasi TVDB untuk mengelola akses ke saluran kosong televisi, FCC menetapkan kontur proteksi statis dan seragam di sekitar pemancar TV menggunakan model propagasi yang terlalu disederhanakan (Kurva FCC) yang hanya memperhitungkan ketinggian medan rata-rata. FCC juga membatasi daya maksimum setiap perangkat berdasarkan asumsi terburuk terkait kepadatan perangkat (daripada membuat TVDB memperhitungkan kepadatan sebenarnya). Sebaliknya, setengah dekade kemudian, peraturan Ofcom memungkinkan pembagian yang lebih intensif dengan menyediakan data berbasis piksel kepada TVDB yang memberikan kontur proteksi yang jauh lebih akurat berdasarkan pemodelan propagasi terperinci yang memperhitungkan clutter (bangunan, pohon, dan path loss di lainnya).

iv. Pemulihan biaya

Seperti disebutkan di atas, salah satu manfaat utama dari pengalihdayaan koordinasi frekuensi ke satu atau lebih operator database komersial adalah kemampuan NRA untuk mengeksternalisasi biaya pengelolaan akses bersama pita frekuensi tersebut.

Operator database dapat diberi wewenang untuk memungut “biaya layanan” untuk mengimbangi biaya dan berpotensi menghasilkan keuntungan. Misalnya, NRA dapat menyetujui biaya penggunaan yang akan dipungut oleh operator database sebagai aspek rutin dari proses registrasi dan verifikasi. Meskipun sifat biayanya dapat sangat bervariasi, dan dapat disesuaikan seiring berjalannya waktu, mungkin hal yang paling penting bagi NRA adalah meminimalisir biaya transaksi.

Mendelegasikan koordinasi frekuensi kepada administrator pihak ketiga bisa saja tidak menghalangi pendapatan pemerintah.

Terlepas dari apakah lembaga tersebut akan meningkatkan biaya langsung berdasarkan kerangka regulasi atau tidak, biaya yang dipungut oleh penyedia layanan database juga dapat mencakup biaya regulasi atau penggunaan spektrum. Meskipun sisi negatif dari biaya apa pun adalah menghalangi penggunaan sumber daya secara produktif – yang biasanya mendorong kegiatan ekonomi secara lebih luas – biaya regulasi atau biaya pengguna mungkin cukup sesuai jika pita tersebut (atau sebagian dari pita tersebut) akan dilelang. Karena koordinator pita dapat memungut biaya yang diperlukan dari tahun ke tahun, DSMS dapat memfasilitasi pendapatan berulang yang dapat melebihi pendapatan lelang dari waktu ke waktu.

Meskipun secara umum pengguna akhir dapat menanggung biayanya secara efisien, ECC mengamati bahwa “dalam rezim yang bebas lisensi, akan sulit untuk membebaskan biaya kepada pengguna akhir individu,”¹⁰⁰ terutama jika tidak ada persyaratan registrasi perangkat pengguna akhir. Kalaupun ada, mungkin akan lebih efisien jika biaya tersebut dimasukkan ke dalam biaya AP dan/atau perangkat pengguna akhir. Meskipun demikian, terdapat alternatif lain, seperti membatasi biaya untuk operator jaringan (misalnya, berdasarkan jumlah titik akses yang terdaftar), atau mengikat biaya pada sertifikasi perangkat (misalnya, mewajibkan perangkat untuk didaftarkan terlebih dahulu di database oleh OEM atau pengecer). ECC Laporan ECC 236 berisi pembahasan mengenai opsi “kerangka pembebanan biaya” dan enam prinsip pemulihan biaya dalam konteks pengelolaan database spektrum.¹⁰¹

4. MELIHAT KE DEPAN: AKSES TERKOORDINASI DATABASE KE PITA SPEKTRUM 5G

Seperti dijelaskan pada Bagian 2 di atas, penggunaan database untuk mengoordinasikan penetapan frekuensi pada pita yang dialokasikan untuk penggunaan bersama sudah baik dan muncul sebagai komponen penting dalam ekosistem nirkabel. Meningkatnya permintaan konsumen akan aplikasi-aplikasi padat data pada perangkat seluler, ditambah dengan potensi manfaat 5G dan IoT, memotivasi regulator untuk melihat bagaimana pembagian spektrum dinamis dapat membuka kapasitas yang tidak terpakai di pita-pita yang terisi namun kurang termanfaatkan.

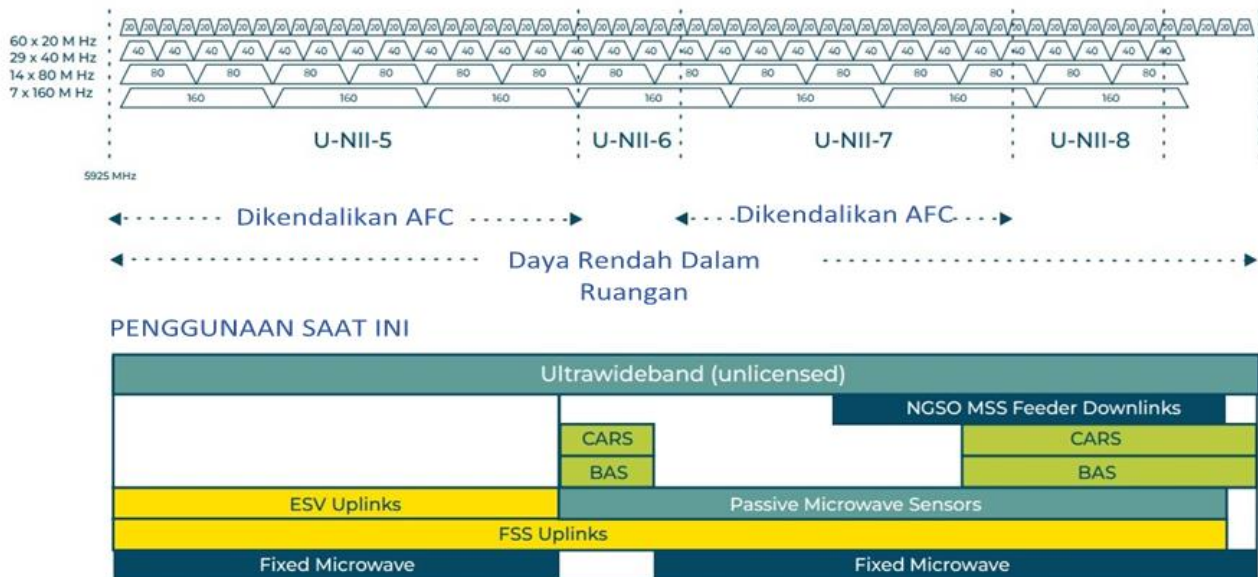
A. Berbagi-Pakai Tanpa Lisensi pada Pita 6 GHz (5925-7125 MHz)

Pada tahun 2020, FCC menjadi NRA pertama yang mengizinkan RLAN tidak berlisensi untuk mengoordinasikan penggunaan bersama empat sub-band (U-NII-5 hingga U-NII-8 dalam rencana saluran di bawah) yang menjangkau keseluruhan 1.200 MHz dari 5925 hingga 7125MHz. Selain mengizinkan penggunaan berdaya rendah, hanya dalam ruangan (LPI) di seluruh pita, titik akses bebas lisensi dapat beroperasi baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan dengan daya standar (hingga 4 Watt EIRP) pada frekuensi 5925-6425 MHz dan 6525- Sub-band 6875 MHz – total 850 MHz – di bawah kendali sistem koordinasi frekuensi otomatis (AFC).¹⁰² Aturan 6 GHz FCC mengizinkan titik akses RLAN luar ruang untuk beroperasi pada “daya standar” (sama seperti aturan U-NII-1 dan U-NII-3 saat ini untuk pita 5 GHz) hanya jika titik akses tersebut mengetahui lokasi dan dapat memperoleh daftar terbaru saluran yang diizinkan

dan tingkat daya maksimum setiap hari dari sistem AFC yang disetujui lembaga.

Kanada mengikutinya pada tahun berikutnya. Pada bulan Mei 2021, regulator Kanada – Departemen Inovasi, Sains dan Pembangunan Ekonomi (ISED) – mengizinkan 950 MHz (dari 5925 hingga 6875 MHz) untuk penggunaan daya standar oleh RLAN, baik di luar ruangan maupun di dalam ruangan, yang tunduk pada koordinasi AFC.¹⁰³ Seperti Amerika Serikat, perangkat bebas lisensi juga dapat beroperasi berdasarkan LPI di seluruh 1.200 MHz tanpa koordinasi database. Dalam keputusannya, ISED menjelaskan bahwa RLAN dengan daya standar “akan mendukung peningkatan akses Internet broadband untuk sejumlah besar pengguna baik dalam konteks perumahan dan komersial, termasuk di daerah pedesaan dan terpencil. . . . [dan] melayani aplikasi dengan bandwidth tinggi yang ada dan yang sedang berkembang di tempat-tempat dengan kepadatan tinggi di luar dan di dalam ruangan, seperti kawasan industri, arena olahraga, dan kampus.”

6 GHz: ALOKASI TANPA LISENSI/RLAN DI SELURUH SEGMENT PITA (AS)

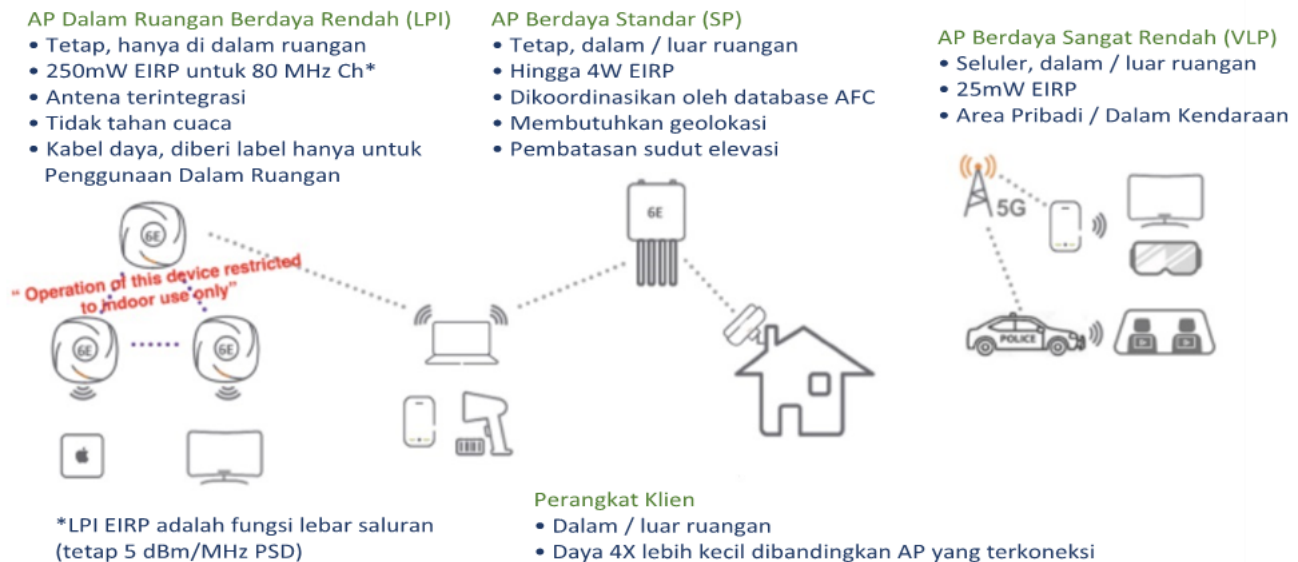


Gambar 15. Sumber: Andrew Clegg, Google

FCC dan ISED diharapkan dapat mensertifikasi beberapa operator sistem AFC dan mengizinkan perangkat bebas lisensi berdaya standar (SP) untuk mulai menggunakan pita 6 GHz pada kuartal keempat tahun 2023. Pada bulan November 2022, FCC menyetujui dengan syarat 13 sistem AFC, yang harus menjalani pengujian di laboratorium dan lapangan “untuk memverifikasi bahwa sistem tersebut beroperasi sesuai dengan peraturan Komisi.”¹⁰⁴ Banyak pengembang sistem AFC yang ingin beroperasi di Kanada dan negara lain, sehingga dapat mempercepat penerapan dan mengurangi biaya. Kanada mengeluarkan keputusan terkait persyaratan teknis untuk AFC pada bulan Desember 2022 dan mengundang pihak-pihak yang berkepentingan untuk mengajukan diri menjadi Administrator Sistem AFC (AFCSA).¹⁰⁵

Negara-negara lain, termasuk Brasil, Arab Saudi, dan Korea Selatan juga telah mengadopsi seluruh frekuensi 1200 MHz untuk perangkat yang dikecualikan dan telah mengusulkan untuk mengizinkan pengoperasian SP berdaya standar di bawah manajemen AFC untuk seluruh pita. Pada akhir Februari 2023, ANATEL Brasil menutup konsultasi untuk meminta komentar atas proposalnya untuk mengizinkan operasi bebas lisensi SP untuk penggunaan luar ruangan di bawah kendali AFC di seluruh pita 6 GHz.¹⁰⁶ Di kawasan Asia-Pasifik, regulator Australia ACMA dan regulator Malaysia MCMC mengajukan pertanyaan spesifik tentang penggunaan SP dan koordinasi AFC sebagai bagian dari konsultasi mereka mengenai operasi tanpa lisensi di pita 6 GHz.

Tiga Mode Pengoperasian Perangkat di 6 GHz



Sumber: HPE Aruba Networks

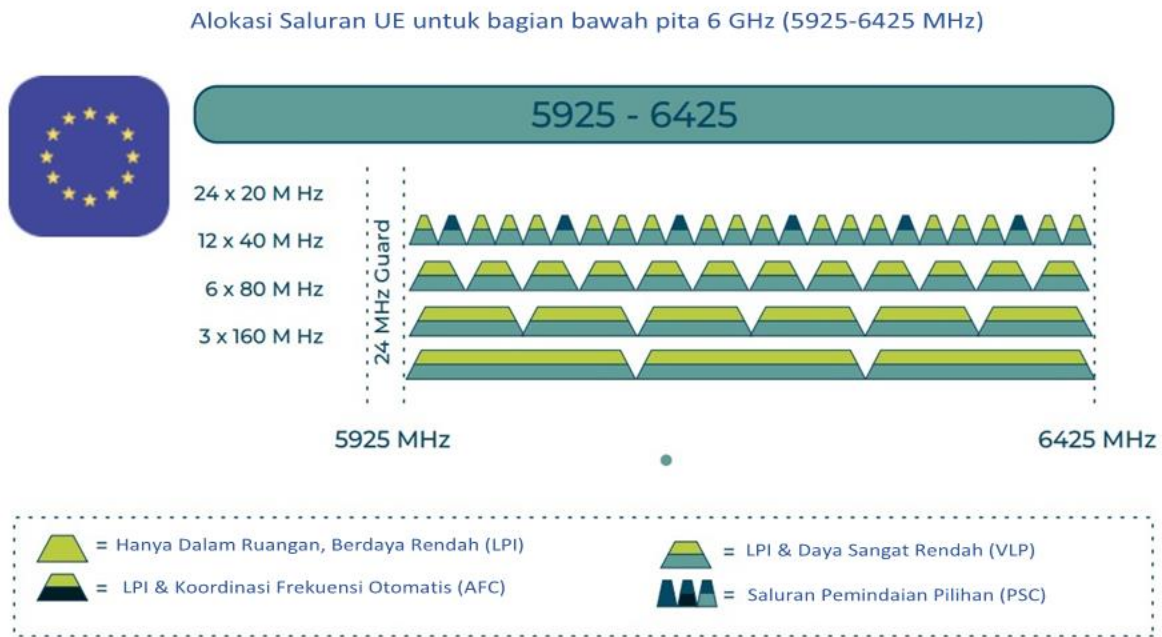
Di Eropa, pada bulan November 2020, Komite Komunikasi Elektronik (ECC) UE menyetujui pengoperasian WAS/RLAN di bawah pita 6 GHz, dari 5925-6425 MHz.¹⁰⁷ Otorisasi awal ini terbatas pada titik akses yang beroperasi di dalam ruangan berdaya rendah (EIRP maksimum 23 dBm) dan perangkat berdaya sangat rendah (VLP) yang diizinkan untuk penggunaan portabel baik di dalam maupun di luar ruangan dengan EIRP maksimum 14 dBm. Mandat Komisi Eropa, yang mengarah pada otorisasi awal 500 MHz untuk penggunaan berdaya rendah dan di dalam ruangan (LPI), mengamati

bahwa “antara 500 MHz dan 1 GHz spektrum tambahan [bebas lisensi] di berbagai wilayah dunia mungkin diperlukan untuk mendukung perkiraan pertumbuhan penggunaan WAS/RLAN pada tahun 2020 . . . [dan] mendukung saluran lebar yang diperlukan untuk semakin banyak aplikasi yang membutuhkan bandwidth besar untuk mencapai kecepatan Gigabit.”¹⁰⁸

Pada bulan Juni 2022, ECC melangkah lebih jauh dan menyetujui item kerja untuk mempelajari kelayakan operasi RLAN berdaya lebih tinggi (hingga 4W EIRP) pada pita 6 GHz yang memanfaatkan “fungsi koordinasi akses spektrum dinamis,” yang diharapkan dapat

memberikan kemampuan serupa dengan sistem AFC yang disertifikasi di AS dan Kanada. Kelompok Kerja (SE45) bertugas mempelajari dan melaporkan kepada ECC “kondisi teknis untuk memungkinkan penerapan fungsi koordinasi akses spektrum dinamis untuk WAS/RLAN pada pita frekuensi 5945-6425 MHz . . . dalam rentang daya hingga 4 W EIRP”¹⁰⁹

Tanggal target laporan adalah 31 Mei 2024. Secara paralel, ECC juga menugaskan ETSI, badan standar Eropa, untuk mempelajari “kelayakan fungsi koordinasi akses spektrum dinamis” dan “mengusulkan kerangka peraturan untuk memungkinkan penerapan di Eropa dan/atau nasional.”¹¹⁰



Gambar 16. Sumber: HPE Aruba Networks

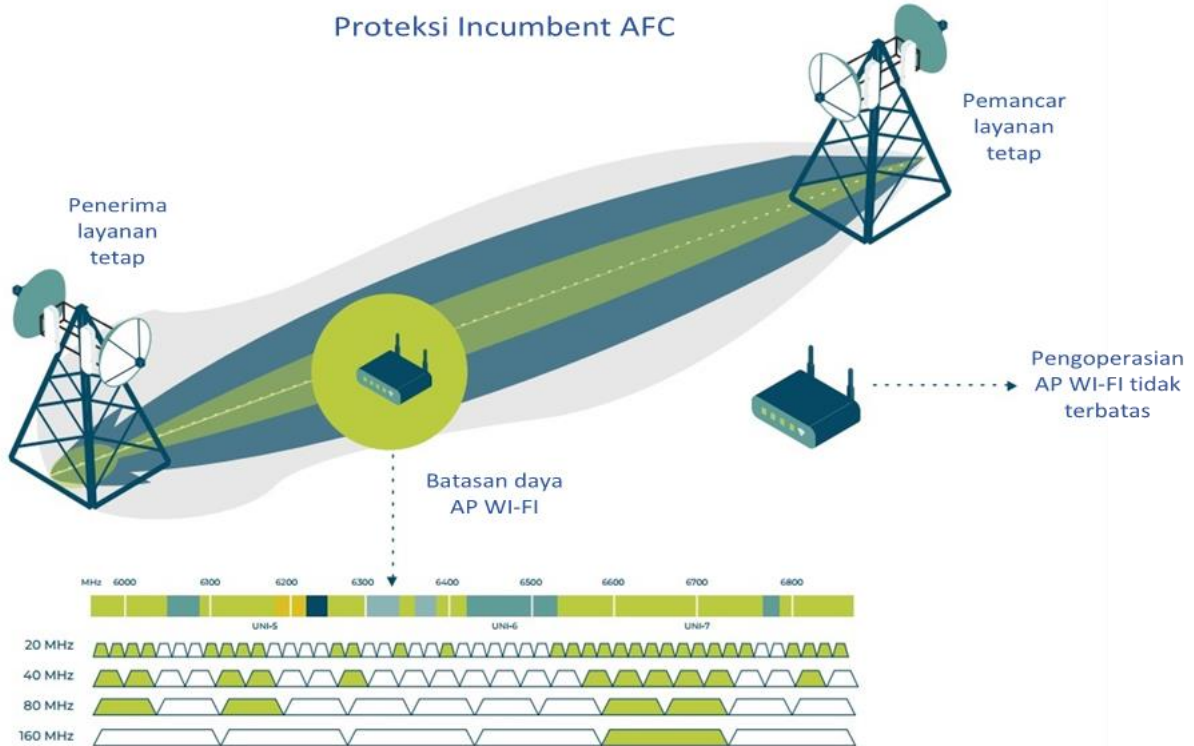
Tentu saja, meskipun UE pada akhirnya mengizinkan pengoperasian SP terbatas pada 5925-6425 MHz, konsumen dan bisnis di Eropa tidak akan memiliki saluran lebar yang diperlukan untuk memanfaatkan sepenuhnya kemampuan Wi-Fi 6E dan Wi-Fi 7 generasi berikutnya. Secara khusus, Wi-Fi 7 dirancang untuk memanfaatkan saluran 320 MHz yang memungkinkan pengguna memanfaatkan aplikasi-aplikasi baru – seperti Augmented Reality dan Virtual Reality (AR/VR) – dengan kebutuhan kapasitas yang melampaui konektivitas internet tradisional. Studi simulasi Intel tentang kebutuhan

spektrum untuk Wi-Fi 7 “menunjukkan bahwa di lingkungan dengan beban traffic sedang hingga tinggi (misalnya, perusahaan, pabrik industri, rumah, hotspot) ketersediaan satu saluran 320 MHz tidak mencukupi. . . . Apabila regulator hanya mengotorisasi pita 500 MHz yang lebih rendah. . . sejumlah besar aplikasi masa mendatang yang moderat hingga yang banyak diminta tidak akan berfungsi sebagaimana mestinya dan oleh karena itu pengguna IoT di perumahan, perusahaan, pemerintahan, dan industri tidak akan mendapatkan manfaat dari aplikasi-aplikasi baru ini.”¹¹¹

Bagaimana AFC Mengaktifkan Operasi Berdaya Standar dan Memproteksi Incumbent

Sistem AFC dirancang untuk memberikan ketersediaan saluran dan Batasan daya untuk perangkat yang bebas lisensi, sekaligus memastikan bahwa sistem incumbent, termasuk sambungan gelombang mikro point-to-point, terlindungi dari interferensi. Karena sambungan gelombang mikro PtP incumbent bersifat tetap, sangat terarah, dan jarang mengubah lokasi atau parameter

pengoperasian, operasi bebas lisensi pada daya standar di luar ruangan dan di dalam ruangan dapat dikoordinasikan oleh sistem AFC yang jauh lebih sederhana daripada Spectrum Access System yang mengatur akses ke pita CBRS AS. FCC dan ISED menyimpulkan bahwa AFC dapat dengan mudah melindungi sekitar 100.000 sambungan gelombang mikro PtP Layanan Tetap (FS) dengan menghitung dan menerapkan kontur proteksi tiga dimensi di sekitar titik penerimaan setiap sambungan (lihat Gambar 17 di bawah).



Gambar 17: Sistem AFC menerapkan kontur proteksi 3D untuk menghindari interferensi RLAN pada penerima Layanan Tetap yang beroperasi pada 6300-6330 MHz dalam contoh ini. Kontur bervariasi berdasarkan antena low gain (UH6) vs antena high gain (UH12).¹¹²

Seperti Database TV Band, AFC hanya menerapkan zona proteksi di sekitar sambungan statis incumbent berdasarkan data lisensi yang disediakan incumbent yang akan terus diperbarui.

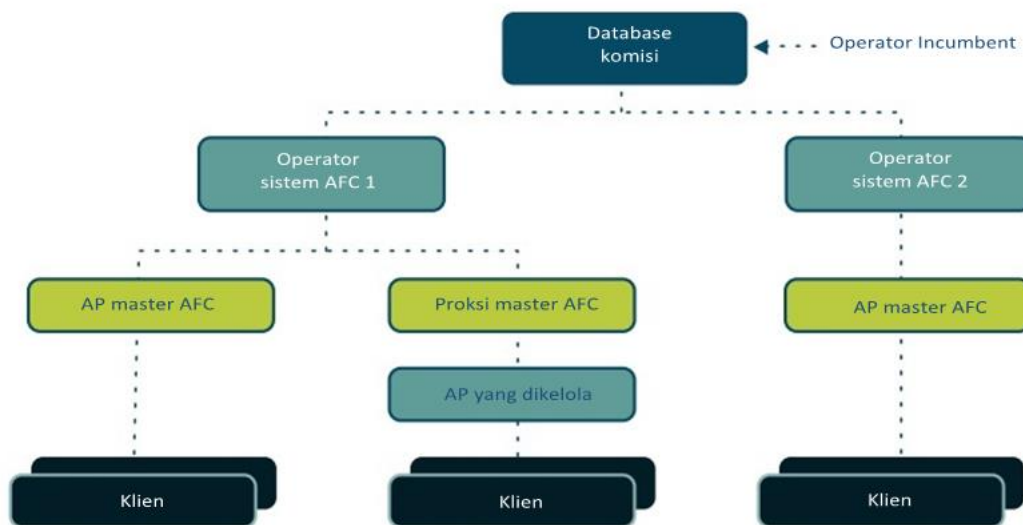
Oleh karena itu, lisensi untuk mengoperasikan titik akses Wi-Fi di suatu lokasi merupakan perhitungan one-to-one yang mudah diverifikasi berdasarkan data incumbent.

Berdasarkan peraturan yang diadopsi oleh AS dan Kanada, setiap titik akses SP diwajibkan untuk melaporkan geolokasi dan ketidakpastian lokasinya, dengan tingkat kepercayaan minimal 95%, ke sistem AFC yang tersertifikasi. Sistem AFC mengotentikasi perangkat dan menggabungkan informasi geolokasi ini dengan pemodelan propagasi dan data lainnya. Kontur proteksi tiga dimensi yang dihitung oleh AFC menggabungkan kesadaran akan medan dan clutter tanah serta antenna sebenarnya yang digunakan oleh masing-masing penerima incumbent (misalnya, antenna high gain, low gain).¹¹³ Sistem AFC menghitung apakah titik akses di lokasi dan ketinggian mana pun dalam wilayah ketidakpastian penerima incumbent dapat menyebabkan interferensi berbahaya. Untuk setiap penerima incumbent, dan untuk semua posisi dan ketinggian dalam area ketidakpastian perangkat, sistem AFC menggunakan pencarian database untuk menentukan saluran dan batasan daya yang diizinkan di mana perangkat dapat beroperasi tanpa menimbulkan risiko interferensi berbahaya yang tidak semestinya.

Fakta bahwa banyak saluran mungkin tidak tersedia di lokasi tertentu menjadikan NRA semakin penting untuk mengizinkan blok spektrum yang sangat besar

untuk penggunaan SP. Dalam hal ini, Kanada sejauh ini memiliki peraturan yang paling produktif, karena ISED telah mengizinkan 950 MHz untuk penggunaan SP di luar ruangan atau di dalam ruangan.

Diagram di bawah (Gambar 18) menggambarkan elemen utama dari arsitektur sistem AFC. Sebelum melakukan transmisi, titik akses SP diharuskan memeriksa sistem AFC setiap 24 jam sekali untuk mengetahui daftar frekuensi yang tersedia dan tingkat daya maksimum di lokasi geografis tertentu. Ketika perangkat resmi dan terotentikasi menanyakan AFC mengenai ketersediaan spektrum, AFC menilai penerima mana yang berpotensi menerima kelebihan energi dari perangkat bebas lisensi berdasarkan lokasi dan potensi daya pancarnya. AFC menghitung ketersediaan saluran dengan ukuran berbeda pada berbagai tingkat daya sehingga titik akses SP dapat memilih saluran optimal yang tersedia dan mengirimkan kombinasi tingkat daya untuk lokasinya. Berdasarkan peraturan AS dan Kanada¹¹⁴, sistem AFC harus mampu menentukan frekuensi yang tersedia dalam langkah yang tidak lebih besar dari 3 dB di bawah daya maksimum yang diizinkan yaitu 36 dBm EIRP, dan turun setidaknya ke tingkat minimum 21 dBm.



Gambar 18: Arsitektur yang disederhanakan untuk Koordinasi Frekuensi Otomatis pada pita 6 GHz

Perangkat harus memeriksa AFC setiap hari untuk menentukan apakah ada perubahan pada penggunaan pita incumbent yang akan mengubah saluran dan mentransmisikan opsi daya yang tersedia untuknya. Demikian pula, operator sistem AFC diharuskan untuk memperbarui informasi tentang penerima incumbent yang tersimpan dalam database yang dikelola oleh FCC setiap hari,

guna memastikan data yang paling akurat digunakan untuk menghitung dan memberikat kontur proteksi yang memadai untuk memproteksi sambungan PtP. Permintaan untuk operasi ditolak untuk frekuensi apa pun di mana emisi RLAN akan melebihi informasi pada receiver incumbent yang disimpan dalam sambungan incumbent.

Koordinasi frekuensi otomatis memungkinkan layanan incumbent untuk menambah lokasi atau mengubah jaringannya, karena database FCC akan terus diperbarui oleh incumbent seperti yang mereka lakukan sekarang dan lisensi saluran RLAN akan habis masa berlakunya secara otomatis jika tidak diperbarui dalam jangka waktu yang ditentukan dalam aturan FCC.

Karena radio incumbent yang memiliki lisensi pada pita 6 GHz bersifat tetap dan sangat jarang berubah, proses koordinasi untuk pita 6 GHz akan lebih sederhana dan efisien dibandingkan SAS dinamis yang digunakan untuk mengoordinasikan pembagian dengan radar Angkatan Laut di pita CBRS 3550-3700 MHz. Penerapan sistem AFC juga dapat ringan karena pengguna akses bersama yang baru tidak memiliki lisensi dan tidak memiliki hak untuk penawaran terlebih dahulu (*first-in rights*) atau tidak mengharapkan proteksi dari interferensi. Meskipun keakuratan area proteksi yang dihitung AFC akan bergantung pada informasi yang diberikan oleh para incumbent, FCC mengatasi hal ini dengan menyelaraskan insentif sehingga para incumbent (yang menikmati penggunaan pita frekuensi 6 GHz secara bebas) akan bekerja sama sejauh mereka khawatir akan adanya interferensi: “Kami percaya bahwa pemegang lisensi memiliki insentif yang signifikan untuk menjaga keakuratan data di ULS untuk memastikan bahwa data tersebut terlindungi dari interferensi berbahaya. Kami juga mencatat bahwa pemegang lisensi memiliki kewajiban untuk menjaga agar informasi mereka ajukan ke Komisi merupakan yang terkini dan lengkap.”¹¹⁵

B. Koordinasi Oportunistik dan Lisensi Bersama Lokal di C-Band (3700-4200 MHz)

Dimulai di Inggris pada tahun 2019, lebih dari dua belas NRA telah mengadopsi lisensi akses bersama lokal untuk memungkinkan vertikal industri dan pengguna spektrum kecil lainnya untuk mengoordinasikan penggunaan spektrum kosong di pita C 3,7 – 4,2 GHz sepanjang hal tersebut tidak menyebabkan interferensi yang merugikan terhadap operasi FSS atau PtP incumbent. Jerman, Swedia dan NRA lainnya telah mengadopsi variasi kerangka ini (lihat grafik di bawah). Pada bulan Mei 2023, regulator Kanada mengadopsi kerangka perizinan lokal bersama untuk pita 3900 MHz (dan untuk sebagian pita 26, 28, dan 38 GHz) yang rencananya akan dikoordinasikan dengan menggunakan sistem database otomatis. Tujuannya adalah untuk menyediakan akses lokal terhadap spektrum bagi

pengguna yang lebih beragam dan juga memastikan, melalui koordinasi dan perizinan, lingkungan interferensi yang lebih pasti dibandingkan ketika perusahaan bergantung pada pita spektrum yang tidak berlisensi.

Sebagaimana dinyatakan oleh Komisi Eropa dalam mandatnya pada tahun 2021 untuk mempelajari penerapan pendekatan ini secara luas berdasarkan aturan teknis umum: “Penyebaran konektivitas nirkabel yang andal dan tangguh semakin menjadi kebutuhan untuk proses industri yang penting bagi bisnis, seperti yang terkait dengan manufaktur otomatis di pabrik-pabrik pintar.”¹¹⁶ Dalam mengadopsi kerangka kerjanya, Ofcom juga menyatakan bahwa sasaran pengguna mencakup “produsen yang melakukan koneksi mesin secara nirkabel, petani yang melakukan koneksi perangkat pertanian seperti sistem irigasi dan traktor pintar secara nirkabel, pengguna perusahaan yang menyiapkan jaringan suara dan data pribadi yang aman di dalam suatu lokasi, serta konektivitas broadband nirkabel pedesaan menggunakan akses nirkabel tetap (FWA).”¹¹⁷

Negara yang Mengotorisasi Porsi 3,7-4,2 GHz untuk Akses Bersama Lokal

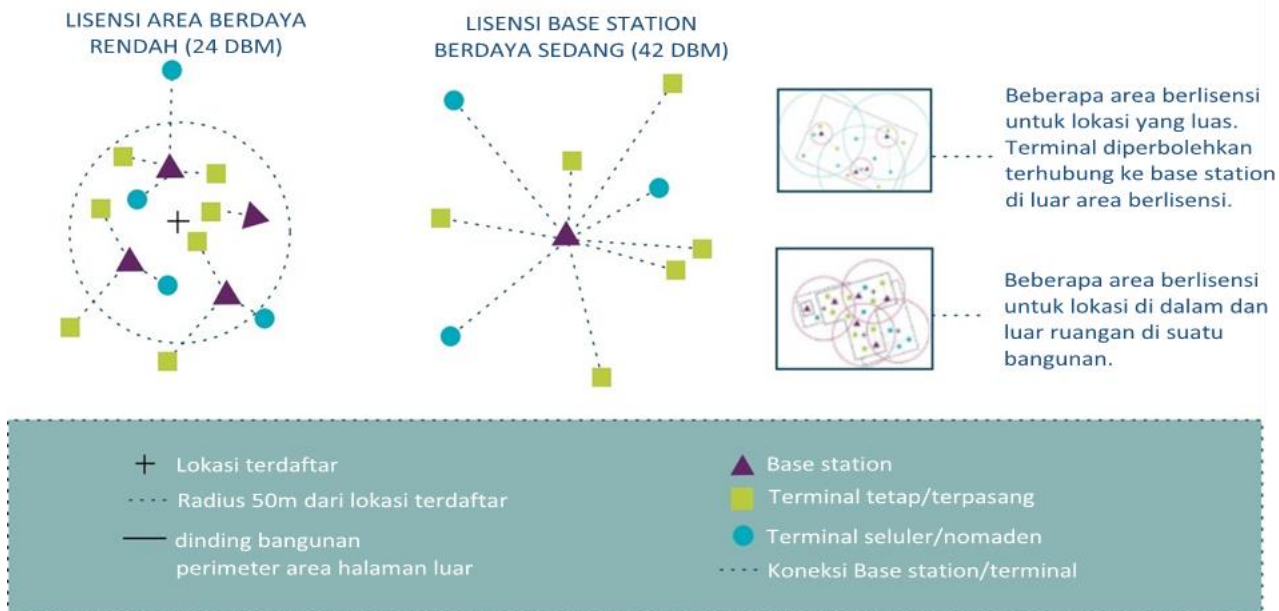
Jerman	3.7–3.8 GHz (vertikal)
Inggris	3.8-4.2 GHz (Lisensi Akses Bersama)
Belanda	3.4-3.45 dan 3.75-3.8 GHz
Swedia	3.72-3.76 GHz
Perancis	3.8-4.0 GHz
Denmark	3.8-4.0 GHz
Brazil	3.7-3.8 GHz
Australia	3.7-3.8 GHz (area terpencil), 3.8-4.0 GHz
Jepang	4.6-4.8 GHz
Korea Utara	4.6-4.7 GHz
Kanada	3.90-3.98 GHz
Bahrain	3.8-4.2 GHz
Saudi Arabia	4.0-4.2 GHz (dalam pertimbangan)
UEA	4.0-4.2 GHz (dalam pertimbangan)

Di Inggris, pada tahun 2019, Ofcom mengadopsi kerangka untuk mengotorisasi akses bersama yang terkoordinasi ke spektrum C-band yang kosong dari 3,8 hingga 4,2 GHz untuk penggunaan broadband seluler dan terrestrial pada basis lokal, termasuk untuk penggunaan di dalam ruangan.¹¹⁸

Ofcom telah mengantisipasi dengan tepat bahwa “pengguna (khususnya pengguna spektrum yang lebih kecil) cenderung menginginkan akses yang sederhana dan hemat biaya serta lingkungan interferensi yang terkelola, melebihi apa yang dapat dicapai dengan menggunakan spektrum bebas lisensi.”¹¹⁹

Menurut Ofcom, pada akhir tahun 2022, lebih dari 1,600 Lisensi Akses Bersama (SAL) telah diterbitkan.¹²⁰ Lembaga ini juga menetapkan jumlah spektrum akses bersama yang lebih kecil untuk penggunaan seluler pada 1800 MHz, 2390-2400 MHz dan (untuk penggunaan dalam ruangan saja) 24,25 – 26,5 GHz.

LISENSI AKSES BERBAGI: DAYA RENDAH DAN SEDANG

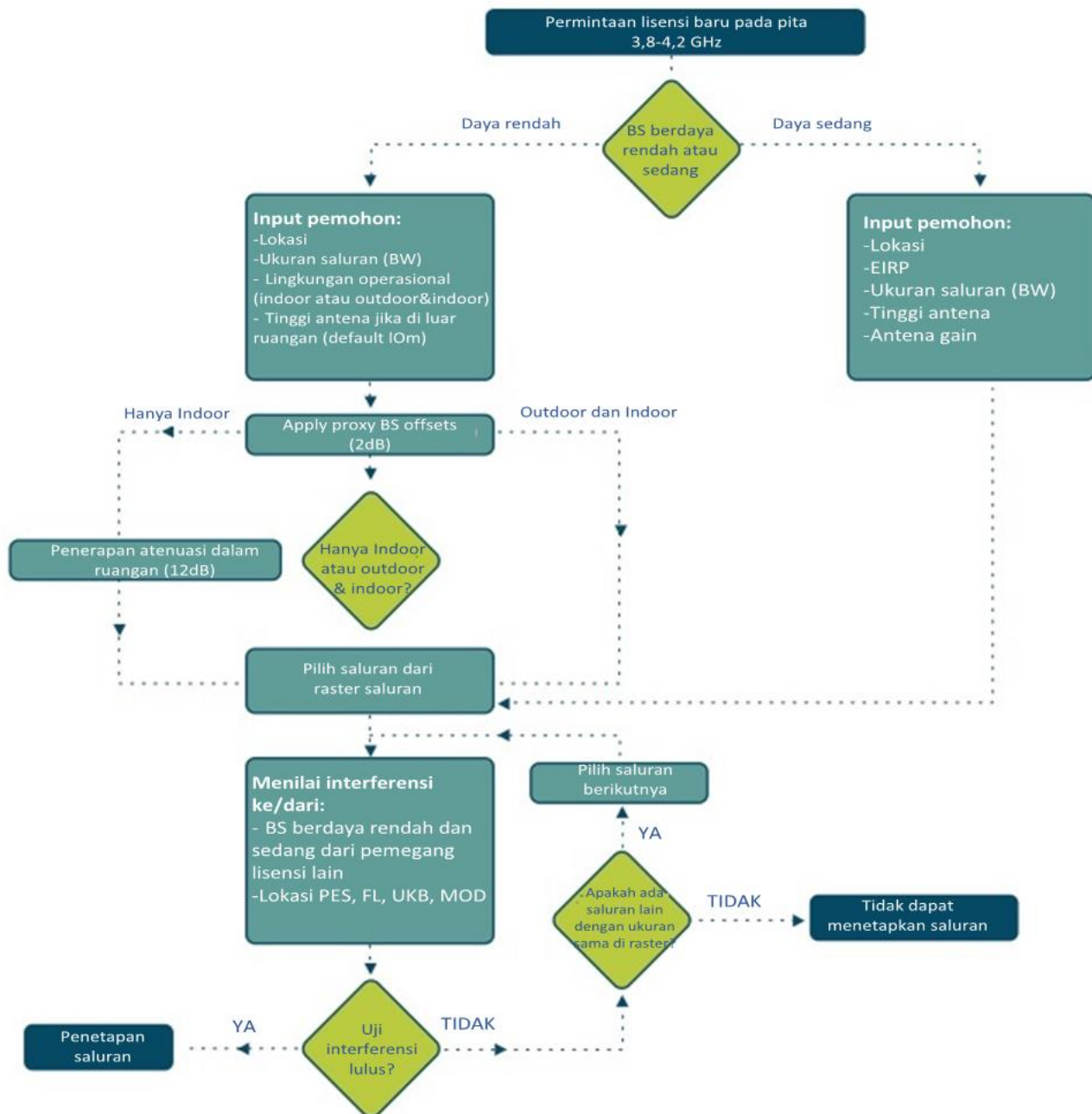


Sumber: Ofcom¹²¹

Kerangka Ofcom mengizinkan jaringan nirkabel bergerak dan tetap untuk mengoordinasikan penggunaan bersama atas saluran-saluran kosong dengan basis co-primary dengan stasiun bumi FSS incumbent dan pemegang lisensi P2P. Dua jenis lisensi diberikan untuk jangka waktu tiga tahun: Pertama, lisensi area kecil, berdaya rendah dengan radius 50 meter; dan lisensi daya menengah, awalnya hanya terbatas pada area pedesaan, yang berdasarkan base station dan ditentukan berdasarkan daya pancar maksimum (42 dBm).¹²² Pengguna dapat menggabungkan lisensi berdaya rendah yang berdekatan pada area yang lebih luas dalam satu otorisasi (lihat diagram di bawah). Serupa dengan pita CBRS FCC, penggunaan yang diharapkan mencakup jaringan LTE pribadi dan 5G New Radio, termasuk untuk perusahaan dalam ruangan (misalnya, host netral dan jaringan IoT),

serta jaringan PtMP nirkabel tetap yang mencakup area luar ruangan yang lebih luas.¹²³

Saat ini, akses terhadap spektrum oleh pengguna baru “dikoordinasikan oleh Ofcom dan diotorisasi melalui pemberian lisensi individu per lokasi, berdasarkan basis *first come first served*.”¹²⁴ Lembaga mengusulkan bahwa biaya lisensinya (£950 per lisensi) harus mencerminkan “biaya sistem IT koordinasi yang dikembangkan secara khusus untuk produk ini.”¹²⁵ Helen Hearn, Direktur Spektrum Ofcom, baru-baru ini menyatakan bahwa tujuan jangka panjang Ofcom adalah “mengotomatiskan sebagian besar proses Lisensi Akses Bersama untuk memungkinkan pengguna melayani diri mereka sendiri dengan lebih baik. Otomatisasi harus secara signifikan mengurangi waktu yang dibutuhkan pemegang lisensi untuk mendapatkan lisensinya, dari berminggu-minggu menjadi hitungan jam atau bahkan menit.”¹²⁶



Gambar 19: Pendekatan koordinasi Ofcom untuk akses bersama berdaya rendah dan sedang dalam pita 3,8-4,2 GHz¹²⁵

Di UE, setidaknya lima NRA telah mengadopsi akses bersama lokal ke setidaknya sebagian dari pita 3,7-4,2 GHz, sehingga membuka jalan bagi penerapan yang lebih luas berdasarkan apa yang diharapkan oleh para regulator sebagai aturan umum. Seperti diuraikan di atas, Konferensi Administrasi Pos dan Telekomunikasi Eropa (CEPT) sedang menjalankan mandat tahun 2021 untuk mempelajari studi umum yang selaras guna mendorong implementasi

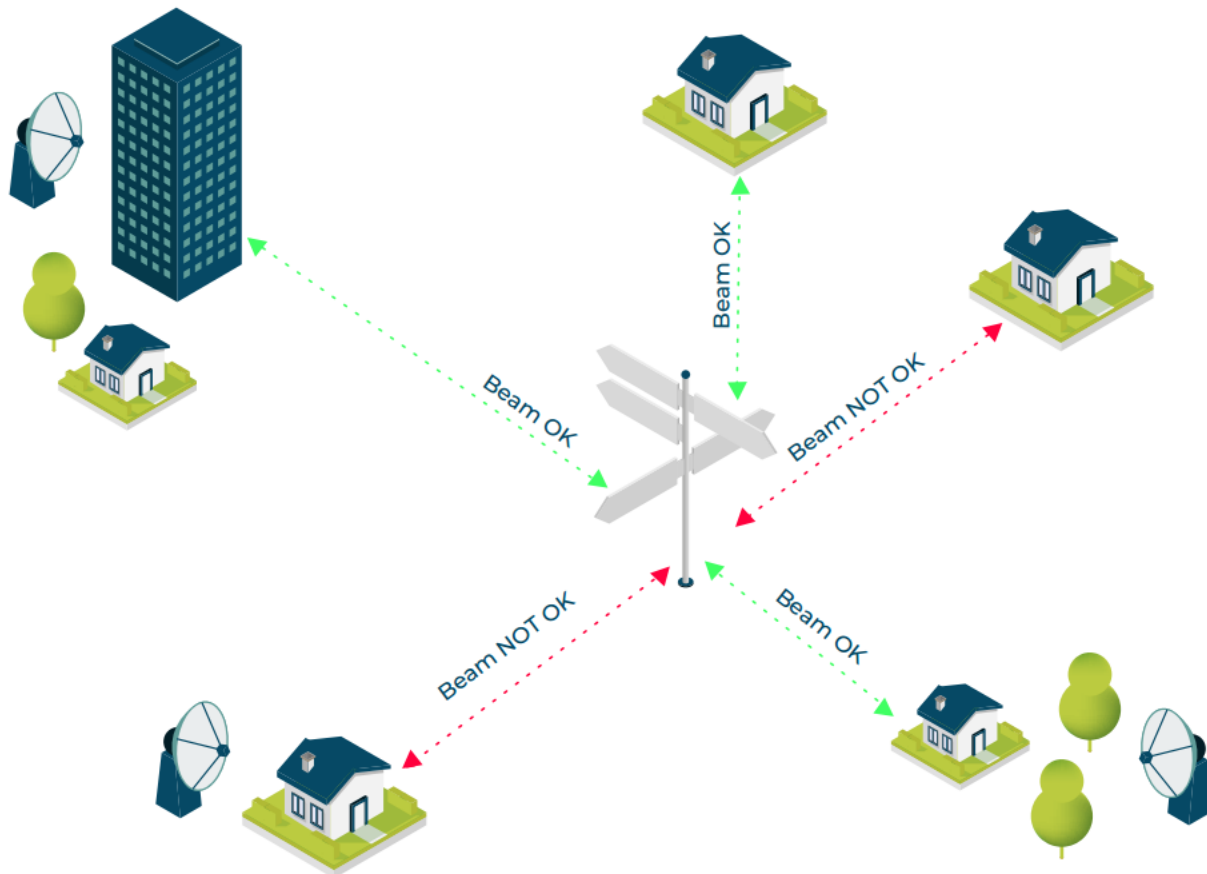
sekaligus memproteksi layanan incumbent.¹²⁸ Mandat CEPT menyatakan bahwa 5G untuk Eropa: Sebuah Rencana Aksi UE “mengidentifikasi perlunya tindakan terkoordinasi di tingkat Uni, termasuk identifikasi dan harmonisasi spektrum 5G guna melayani model bisnis inovatif dan solusi akses spektrum berlisensi lokal.” Oleh karena itu, mandat tersebut meminta CEPT untuk “menilai kelayakan teknis penggunaan bersama pita frekuensi 3,8-4,2 GHz” dengan “fokus pada pengguna

vertikal dan penggunaan nirkabel terestrial lainnya” dan “kondisi teknis yang diselaraskan untuk penggunaan pita bersama.”¹²⁹ Laporan akhir diharapkan tersedia pada Maret 2024.

3,7 – 4,2 GHz di AS

Di AS, konsolidasi FSS di C-Band dan hasil lelang 280 MHz yang menghasilkan \$84 miliar ke Departemen Keuangan AS dimulai dengan proposal untuk pembagian terkoordinasi yang sangat mirip dengan apa yang awalnya diadopsi oleh Ofcom. Sebelum lelang tahun 2021 tersebut, spektrum antara

3700 dan 4200 MHz didelegasikan hampir secara eksklusif untuk downlink video dan data yang digunakan oleh lebih dari 20.000 stasiun bumi FSS terdaftar, sebagian besar hanya untuk menerima saja. Usulan untuk mengadopsi peraturan yang disetujui dengan suara bulat oleh FCC pada bulan Juli 2018 menyarankan untuk mengkonsolidasikan penggunaan pita oleh FSS, membebaskan sebagian untuk dilelang, dan untuk mengotorisasi akses bersama yang terkoordinasi oleh operator broadband nirkabel tetap ke setidaknya sebagian dari C-Band yang akan terus digunakan oleh FSS.¹³⁰



Gambar 20: Koordinasi frekuensi otomatis sambungan PtP terarah nirkabel dengan stasiun bumi FSS. Berbeda dengan penggunaan seluler, PtMP pada dasarnya bersifat terarah dan dapat disektorkan agar dapat berada bersama FSS.

Layanan Tetap merupakan co-primer dalam pita, namun hampir tidak ada lebih dari 100 sambungan PtP yang telah dikoordinasikan karena anggapan bahwa stasiun bumi terproteksi pada wilayah geografis yang sangat luas untuk penggunaan seluruh 500 MHz di semua slot transponder satelit yang terlihat (kebijakan proteksi “full-band, full-arc” yang diadopsi (kebijakan

proteksi “full-band, full-arc” yang diadopsi setengah abad yang lalu ketika spektrum di atas 3 GHz masih banyak).¹³¹ Koeksistensi antara akses nirkabel tetap (PtP dan PtMP) dan FSS dimungkinkan karena, tidak seperti penggunaan seluler, PtMP bersifat terarah dan dapat disektorkan untuk dibagikan tanpa intereferensi ke stasiun bumi FSS.¹³²

Untuk memungkinkan koordinasi, FCC mengusulkan untuk memproteksi stasiun bumi dari interferensi hanya pada frekuensi dan sudut elevasi antena yang mereka verifikasi benar-benar digunakan, mengakhiri “full band, full arc” dari kapasitas spektrum yang kosong.¹³³ Setelah mengamati bahwa proses koordinasi manual saat ini untuk sambungan PtP tetap yang baru di C-Band berjalan dengan lambat dan mahal, Komisi meminta komentar sehubungan dengan penerapan “proses koordinasi otomatis untuk FS point-to-multipoint.”¹³⁴ NPRM juga mengusulkan untuk hanya memproteksi stasiun bumi terdaftar yang memberikan informasi yang diperlukan untuk mengoordinasikan akses bersama dan untuk mengungkapkan penggunaan aktual transponder tertentu dan rentang frekuensi yang sesuai oleh masing-masing antena di lokasi stasiun bumi.

Pada akhirnya, FSS incumbent terkemuka (Intelsat dan SES) mengusulkan, sebagai alternatif, bahwa mereka dapat secara sukarela mengkonsolidasikan operasi mereka di pita 200 MHz di atas 4000 MHz dengan imbalan “pembayaran insentif.” FCC setuju bahwa mereka dapat melakukan hal ini dengan menggunakan otoritas lelang insentif yang diberikan oleh Kongres pada tahun 2012 untuk menghapus saluran TV dari pita 600 MHz. Pada bulan Maret 2020, Komisi mengadopsi arahan yang meminta realokasi 3700-4200 MHz, melelang 280 MHz, yang mewajibkan pemenang lelang untuk mengganti biaya transisi dan pembayaran insentif sebesar miliaran dolar kepada incumbent, dan menunda pertimbangan apa pun atas usulan awal untuk mengoordinasikan pembagian lokal atas sisa 200 MHz dengan penggunaan FSS yang sedang berlangsung.¹³⁵

C. Berbagi-Pakai Terkoordinasi di 42 GHz dan dengan Pengguna Pemerintah di 37-37,6 GHz (AS)

Sebagai bagian dari inisiatif “Spectrum Frontiers” yang lebih luas untuk mengalokasikan spektrum gelombang milimeter di atas 24 GHz untuk operasi seluler dan tetap 5G – terutama melalui lelang – FCC juga menyisihkan spektrum 600 MHz di bawah pita 37/39 GHz (dari 37 hingga 37,6 GHz) untuk pembagian non-eksklusif dan terkoordinasi antara pengguna federal dan komersial dengan basis co-primary.¹³⁶ Operasi federal saat ini terbatas pada 14 pangkalan militer dan beberapa lokasi yang digunakan oleh badan antariksa NASA. Setelah awalnya menunda keputusan mengenai pita 42-42,5

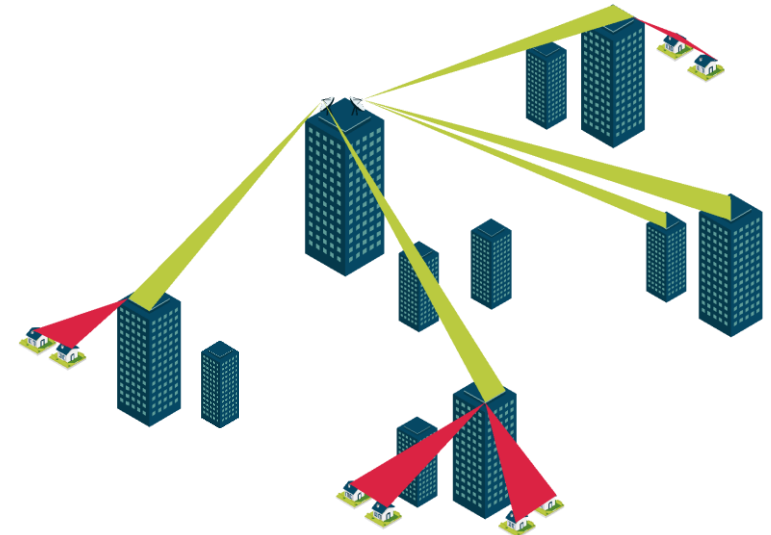
GHz yang tidak dialokasikan, FCC pada bulan Juni 2023 mengusulkan untuk mengotorisasi akses bersama yang terkoordinasi ke pita tersebut untuk akses nirkabel tetap (point to multi-point), kemungkinan sebagai bagian dari kerangka berbagi yang umum dan terkoordinasi DSMS dengan pita 37 GHz yang lebih rendah.

Pada tahun 2016, FCC awalnya menetapkan bahwa akses ke pita 37 GHz akan dilisensikan berdasarkan aturan (terdaftar, namun non-eksklusif) dan dikelola “melalui mekanisme koordinasi, yang akan dikembangkan dengan lebih baik melalui kolaborasi pemerintah/industri.”¹³⁷ Meskipun ada beberapa penggunaan komersial dari pita ini untuk broadband tetap point-to-multipoint (kebanyakan digunakan untuk sambungan nirkabel tetap line-of-sight ke rumah multi-tenant), 37-37.6 GHz dikoordinasikan secara manual di bawah lisensi eksperimental sementara (STA), sedangkan FCC menyusun rincian mekanisme koordinasi umum dengan pengguna federal incumbent.

FCC menggambarkan “skema lisensi atau pendaftaran dengan basis first-come-first-served, yang mana pengguna sebenarnya memiliki hak atas proteksi interferensi, namun tidak memiliki hak untuk mengecualikan pengguna lain.”¹³⁸ Penggunaan pita yang dimaksudkan mencakup sambungan point-to-point (misalnya, untuk sambungan backhaul dan backbone); sistem broadband nirkabel tetap PTMP; sistem IoT dengan base station tunggal (misalnya, di pabrik); “dan penerapan sistem seluler berbasis operator yang menggunakan Pita 37 GHz bawah sebagai kapasitas tambahan.”¹³⁹ Untuk memfasilitasi berbagi-pakai dan menurunkan biaya perangkat, FCC (seperti halnya CBRS) mengharuskan perangkat dapat beroperasi di seluruh pita 37 GHz.

Pada Juni 2023, FCC mengusulkan untuk mengotorisasi penggunaan bersama secara lokal atas 500 MHz yang saat ini tidak digunakan pada pita 42-42,5 GHz untuk broadband terrestrial, kemungkinan berdasarkan aturan berbagi-pakai yang akan mengatur pita 37 GHz yang lebih rendah. Sebelum FCC memberikan suara bulat atas proposal tersebut, Ketua Jessica Rosenworcel menyatakan: “Hal ini dapat melibatkan lisensi nasional non-eksklusif yang memanfaatkan database untuk memfasilitasi koeksistensi. Hal ini juga mungkin memerlukan lisensi berbasis lokasi. Untuk memaksimalkan upaya ini, kami bertanya apakah pendekatan kami dapat dikombinasikan dengan model yang digunakan bersama di pita spektrum lain, seperti pita 37 GHz yang lebih rendah”.

Registrasi berbasis lokasi dapat dikoordinasikan pada awalnya melalui sistem koordinasi semi-otomatis yang sederhana dan berkembang menjadi sistem terkoordinasi database yang sepenuhnya otomatis seiring berjalannya waktu (berdasarkan input dari berbagai pemangku kepentingan, termasuk dari pengguna lembaga Federal). Untuk mendaftarkan suatu lokasi, pemegang lisensi harus menyatakan “informasi spesifik tentang setiap lokasi yang cukup bagi koordinator pihak ketiga untuk melakukan analisis interferensi,” termasuk lokasinya, ketinggian di atas permukaan tanah, EIRP, azimuth pemancar, dan ukuran saluran.¹⁴⁰ Sistem koordinasi akan melakukan analisis interferensi di mana lokasi yang terdaftar sebelumnya akan terproteksi dengan pemodelan kekuatan sinyal terima yang ditentukan dalam aturan FCC. Dengan menggunakan DSMS, operator dapat menerima respons yang hampir seketika, sehingga membuat sistem ini jauh lebih cepat dan lebih murah dibandingkan proses koordinasi lokasi atau sambungan layanan tetap tradisional. Mekanisme koordinasi juga dapat digunakan untuk menegakkan persyaratan konstruksi (build-out) dan dapat berkembang seiring berjalannya waktu untuk menambahkan perangkat tambahan yang meningkatkan efisiensi pita tersebut.



Gambar 21: Akses nirkabel tetap dengan penggunaan kembali frekuensi yang memungkinkan database dalam pita milimeter

D. Berbagi-Pakai Terkoordinasi untuk Akses Nirkabel Tetap di Pita 10 dan 12 GHz (AS)

Meskipun pita-pita baru untuk IMT mendapat perhatian paling besar, di Amerika Serikat FCC juga mempertimbangkan penggunaan DSMS untuk mengoordinasikan pembagian spektrum pita-menengah atas yang kurang dimanfaatkan secara lebih intensif untuk point-to-point (PtP) tetap dan point-to-multipoint (PtMP). Proses pada dua pita yang bersama-sama mencakup lebih dari 1000 MHz sedang tertunda. Salah satunya adalah pita 12,2 – 12,7 GHz, yang saat ini digunakan secara co-primer sebagai pita downlink satelit untuk konstelasi satelit LEO (bagian dari alokasi 10,7-12,7 GHz yang lebih besar) dan untuk layanan TV satelit siaran digital (DBS). Pita frekuensi 12,7-13,25 GHz yang berdekatan jauh lebih sedikit yang digunakan, meskipun incumbent Broadcast Auxiliary Service nomaden dan penggunaan lainnya sudah lama memegang lisensi. Pita ketiga yang tampaknya kurang termanfaatkan, pada frekuensi 10-10,5 GHz, digunakan untuk radar militer.

FCC awalnya meminta komentar dan data mengenai apakah 5G seluler (IMT) memungkinkan untuk koeksistensi dengan satelit incumbent di pita 12,2 – 12,7 GHz.¹⁴¹ Setelah periode komentar panjang yang mencakup studi teknik dari berbagai pihak, FCC secara tentatif menyimpulkan (per Maret 2023) bahwa perangkat seluler tidak dapat koeksistensi dengan receiver NGSO. Badan ini masih mempertimbangkan apakah mekanisme koordinasi dapat memungkinkan FWA beroperasi secara terkoordinasi dan sekunder. Dalam Notice of Proposed Rulemaking, FCC menyatakan bahwa pita 12 GHz dapat “mendukung penggunaan spektrum yang tidak terpakai secara oportunistik pada tingkat lokal, seperti untuk nirkabel tetap berkapasitas tinggi di daerah pedesaan dan daerah yang kurang padat penduduknya.”¹⁴² Pendukung broadband pedesaan dan kesenjangan digital berpendapat bahwa akses terbuka dan terkoordinasi terhadap spektrum yang tidak terpakai di pita 12 GHz akan memberikan ISP pedesaan dan entitas lain spektrum untuk infrastruktur yang mereka perlukan untuk memperluas layanan broadband dan membantu menjembatani kesenjangan digital.¹⁴³

Pada tahun 2022, FCC membuka Notice of Inquiry yang meminta komentar mengenai apakah pita frekuensi 12,7 – 13,25 GHz yang berdekatan dapat dibagikan secara lebih intensif atau bahkan dialokasikan kembali untuk mendorong penggunaan broadband terrestrial.¹⁴⁴ Pita ini jarang digunakan oleh layanan tambahan siaran, layanan relai TV kabel, FSS, dan layanan gelombang mikro tetap. Seperti pada pita CBRS, keuntungan utama dari pembukaan pita 12,7 GHz untuk penggunaan bersama yang terkoordinasi pada basis sekunder adalah menghindari proses yang mahal, mengganggu, dan panjang terkait dengan pembersihan dan pemindahan incumbent di pita tersebut. Selain itu, kerangka bersama dan akses terbuka yang mirip dengan CBRS dapat menyediakan spektrum secara lokal untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat akan spektrum saluran yang lebih luas bagi perusahaan dan ISP nirkabel tetap, khususnya di pedesaan, suku, dan komunitas lain yang kurang terlayani.

Pada Agustus 2022, sekelompok pemangku kepentingan yang fokus pada upaya menutup kesenjangan digital di pedesaan mengajukan Petition for Rulemaking yang meminta FCC untuk mengizinkan akses bersama yang terkoordinasi ke spektrum yang kosong di pita 10 GHz (10 – 10.5 GHz), sebuah pita yang diyakini digunakan secara eksklusif oleh militer AS untuk aplikasi radar. Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Nirkabel (WISPA) dan pihak-pihak lain menjelaskan dalam Petisi bahwa permintaan yang meningkat pesat akan layanan broadband nirkabel tetap berkapasitas tinggi di pedesaan, suku, dan wilayah berpenduduk kurang padat lainnya memerlukan lebih banyak spektrum pita menengah atas untuk mendukung penerapan point-to-point (PtP) dan point-to-multi-point (PtMP)¹⁴⁵ Meskipun militer sempat mempertimbangkan dan menolak pembagian pita 10 GHz satu dekade yang lalu, hal ini terjadi sebelum CBRS dan Departemen Pertahanan menerima koordinasi database dinamis sebagai bukti efektif dalam melindungi operasi radar.¹⁴⁶ Petisi ini masih menunggu keputusan.

E. Berbagi-Pakai Satelit Berbantuan Database

Perbatasan dalam pembagian spektrum terkoordinasi database akan fokus pada pita satelit, termasuk koordinasi antar jaringan satelit yang berbeda. Tinjauan bermanfaat dapat ditemukan dalam makalah IEEE tahun 2017 yang merangkum

studi komprehensif yang dilakukan sebagai bagian dari program Penelitian Lanjutan dalam Sistem Telekomunikasi Badan Antariksa Eropa. Makalah ini menyatakan bahwa sebagai respons terhadap melonjaknya permintaan akan akses broadband dan bandwidth yang lebih banyak, “industri satelit saat ini sedang mengalami transformasi besar karena kemajuan teknologi yang pesat dalam sistem satelit kecil dan sistem satelit dengan throughput yang sangat tinggi, serta tren peralihan dari penyiaran ke konektivitas broadband.”¹⁴⁷ Transformasi ini sejalan dengan perkembangan jaringan nirkabel terrestrial dan akan meningkatkan kebutuhan untuk lebih memanfaatkan pita satelit yang ada. “Alasan mengapa pendekatan database diusulkan untuk komunikasi satelit pada dasarnya sama dengan sistem terrestrial: database memberikan proteksi yang lebih baik kepada pengguna incumbent,” atau pengguna dengan prioritas lebih tinggi, khususnya dalam “skenario pembagian spektrum yang sangat dinamis.”¹⁴⁸

Studi yang dilakukan Badan Antariksa Eropa mengidentifikasi empat skenario pembagian spektrum potensial:

- (a) dua sistem satelit yang berbagi spektrum yang sama (misalnya, berbagi-pakai antara sistem satelit orbit geostasioner (GSO) dan orbit non-geostasioner (NGSO));
- (b) sistem satelit sebagai pengguna sekunder spektrum (misalnya, terminal satelit yang memanfaatkan pemisahan spasial untuk berbagi-pakai dengan sambungan gelombang mikro terrestrial tetap);
- (c) perluasan jaringan terrestrial melalui koordinasi dengan jaringan satelit (misalnya jaringan LTE kolaboratif yang memperluas jangkauan di wilayah pedesaan); dan
- (d) perluasan penggunaan sekunder spektrum satelit oleh sistem terrestrial (misalnya, koordinasi FS dan IMT terrestrial menjadi C-Band).

Sehubungan dengan berbagi-pakai antar sistem satelit, laporan ini berfokus pada pembagian terkoordinasi database antara sistem GSO dan NGSO incumbent, konstelasi satelit orbit rendah Bumi (LEO) yang saat ini sedang digunakan oleh perusahaan-perusahaan termasuk OneWeb, SpaceX dan Amazon. Konstelasi ini akan terdiri dari ribuan satelit LEO. Studi ini menemukan bahwa koordinasi yang dibantu oleh database seharusnya dapat diandalkan dan berguna karena posisi satelit NGSO yang dapat diprediksi dari waktu ke waktu (ephemeris), yang dapat digunakan

untuk mengantisipasi dan menyesuaikan diri untuk menghindari situasi interferensi.¹⁴⁹ Dengan asumsi bahwa database memiliki input yang akurat dari operator GSO dan NGSO di pita tersebut – yang paling penting adalah ephemeris satelit NGSO dan tingkat daya yang diterima di lapangan – maka database koordinasi dapat:

- (1) memperingatkan terlebih dahulu setiap sistem mengenai situasi interferensi saluran apa pun dengan memperkirakan kapan dan di mana hal itu akan terjadi,
- (2) membantu dalam mengadopsi strategi mitigasi interferensi yang tepat untuk kasus-kasus ini [yang kemungkinan besar “mengubah frekuensi operasi pada link feeder”], dan
- (3) menjawab permintaan bandwidth lebih banyak dari setiap sistem dan mengalokasikan spektrum yang sesuai.¹⁵⁰

Potensi peran dan manfaat dari mekanisme clearinghouse atau database pihak ketiga untuk memfasilitasi “koordinasi dengan niat baik” antara konstelasi LSM yang berbagi-pakai spektrum juga sedang dipertimbangkan dalam proses FCC yang tertunda yang bertujuan untuk memperjelas aturan seputar prioritas LSM dan pembagian spektrum.¹⁵¹ FCC mengusulkan untuk mengklarifikasi bahwa meskipun operator LSM yang disetujui pada pemrosesan sebelumnya harus terproteksi dari interferensi berbahaya oleh sistem selanjutnya, semua operator akan tetap tunduk pada persyaratan “koordinasi dengan niat baik” yang dimaksudkan untuk mendorong masuknya perusahaan, kompetisi, dan efisiensi spektrum. Meskipun saat ini lembaga tersebut tidak mengusulkan mekanisme koordinasi spesifik apa pun, Komisi menyatakan bahwa “berbagi informasi di antara operator NGSO FSS sangat penting untuk efisiensi penggunaan spektrum” dan membuka komentar mengenai mekanisme informasi dan koordinasi apa yang diperlukan.¹⁵²

Komentar para pemangku kepentingan menyarankan bahwa beberapa kategori informasi operasional (misalnya, lokasi gateway, algoritma pemilihan satelit, data ephemeris, beam pointing angle) pada akhirnya dapat dikoordinasikan melalui clearinghouse pihak ketiga yang netral atau DSMS yang disertifikasi oleh FCC. Intelsat, misalnya, mengusulkan agar FCC “dapat lebih lanjut

memfasilitasi koordinasi yang lebih efektif dengan memfasilitasi database yang dipimpin oleh industri dan memiliki akses terbatas di mana parameter sistem akan tersedia bagi pemohon dan penerima izin NGSO.”¹⁵³

Para penulis studi ESA dan survei IEEE yang disebutkan di atas mengakui bahwa diperlukan lebih banyak penelitian dan pengujian sebelum pembagian data yang terkoordinasi di antara sistem-sistem satelit yang berbeda dapat diandalkan, termasuk dampak interferensi agregat dari penyebaran mega-konstelasi satelit NGSO kecil yang relatif padat. Meskipun demikian, secara teori, koordinasi antara satelit dan banyak pengguna terestrial, serta antar operator satelit, pengembangan sistem koordinasi database otomatis dapat menguntungkan operator dan NRA karena jumlah dan ukuran konstelasi satelit yang kecil menyebabkan lebih banyak kemacetan dan konflik di pita satelit.¹⁵⁴

5. TEKNOLOGI DENGAN CEPAT MENINGKATKAN POTENSI AKSES SPEKTRUM DINAMIS

Sebagaimana diuraikan pada bagian sebelum ini, fungsionalitas dan keandalan koordinasi frekuensi berbasis database telah berkembang pesat selama satu dekade terakhir, dari koordinasi berbantuan database (dalam pita tetap), hingga koordinasi frekuensi otomatis (untuk akses tanpa lisensi ke pita 6 GHz dan saluran TV kosong), hingga akses spektrum dinamis (dalam pita CBRS baru pada 3550-3700 MHz di AS). Koordinasi database Spektrum telah terbukti memberikan banyak manfaat saat ini dan juga berpotensi memberikan manfaat di masa mendatang bagi seluruh pemangku kepentingan, termasuk layanan incumbent, pengguna akses bersama baru, konsumen, dan regulator.

Kemajuan lebih lanjut terlihat dalam jangka pendek hingga menengah. Kemajuan teknis yang paling penting kemungkinan besar adalah meningkatnya penggabungan data GIS yang sangat akurat dan semakin canggihnya pemodelan propagasi dan interferensi. Konsep terkait lainnya adalah semakin banyaknya peralihan menuju ‘zona proteksi dinamis’, dibandingkan ‘zona eksklusif’ yang kaku dan terlalu protektif. Manfaat dari kemajuan ini kemungkinan besar akan semakin diperkuat dengan penerapan kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (*machine learning*).

Input lain yang menjanjikan bagi kesadaran dunia nyata terhadap lingkungan spektral adalah data penginderaan secara *real-time*. SAS yang diandalkan untuk mengoordinasikan pembagian tiga lapis dalam pita CBRS adalah yang pertama menggabungkan penginderaan, dengan mengandalkan jaringan sensor pesisir yang dirancang untuk memproteksi radar Angkatan Laut AS. Namun masa depan akan menunjukkan bahwa ini adalah langkah awal yang kasar menuju apa yang mungkin merupakan kombinasi penginderaan *crowdsourced* (melalui perangkat) dan jaringan penginderaan tetap atau seluler yang lebih banyak terdapat di mana-mana yang dapat berfungsi sebagai sumber daya yang dikumpulkan untuk berbagi-pakai secara dinamis di banyak pita yang berbeda. Secara paralel, kepentingan baru-baru ini dari pemerintah AS dalam mengembangkan Incumbent Informing Capability dapat memungkinkan operator DSMS untuk mengumpulkan input yang jauh lebih tepat dari operasi incumbent atau yang diprioritaskan. Hal ini akan sangat berguna pada pita yang pengguna utamanya bersifat seluler atau episodik, karena radar Angkatan Laut AS berada pada pita CBRS.

Operator database juga cenderung menawarkan sejumlah layanan bernilai tambah yang inovatif. Diantaranya adalah potensi untuk menggabungkan teknologi blockchain dengan koordinasi database dinamis. Bagian ini hanya mengeksplorasi teknologi-teknologi baru pada tingkat awal, namun teknologi-teknologi tersebut memberikan bukti lebih lanjut bahwa NRA yang gagal memanfaatkan pendekatan-pendekatan baru yang lebih dinamis ini kemungkinan besar akan tertinggal dalam adu cepat global menuju masa depan dimana nirkabel memiliki bandwidth yang berlimpah.

A. Pemodelan Data GIS dan Propagasi

Sebagaimana diuraikan sebelumnya, kehilangan propagasi telah dipelajari secara ekstensif dan dipahami dengan baik.¹⁵⁵ Database spektrum yang menggabungkan rincian dunia nyata terkait medan, clutter (pohon, bangunan), dan kumpulan data GIS lainnya dapat memungkinkan penggunaan spektrum yang jauh lebih intensif.¹⁵⁶ Database AFC yang diinformasikan oleh kumpulan data GIS di dunia nyata tidak perlu membuat asumsi umum dan kasus terburuk tentang interferensi. Dengan kesadaran yang lebih akurat terhadap lingkungan fisik, sistem DSM memiliki kekuatan komputasi untuk menghitung kehilangan jalur aktual berdasarkan karakteristik perangkat akses bersama, penerima

yang terproteksi, dan jalur fisik aktual di antara keduanya.

Seperti yang dijelaskan Preston Marshall dalam bukunya tentang berbagi-pakai tiga lapis, model propagasi yang digunakan saat ini “didasarkan pada sedikit data dan sumber daya komputasi yang terbatas.”¹⁵⁷ Hal ini menyebabkan hasil yang tidak realistis dan kasus terburuk sehingga melemahkan tujuan kebijakan pembagian sekunder. Marshall menyatakan bahwa kurangnya granularitas dunia nyata melekat pada ketergantungan pada pemodelan berbasis medan, seperti model Kurva FCC (berdasarkan pemodelan medan Longley-Rice) yang menetapkan zona eksklusif statis di sekitar lokasi transmisi stasiun TV dalam aturan TVWS FCC, dicontohkan dengan membandingkan pemetaan GIS Manhattan yang lebih canggih. Model berbasis medan Longley-Rice menggambarkan pulau tersebut sebagaimana keadaannya pada tahun 1600 – tanpa bangunan atau bahkan pepohonan. Pada kenyataannya, khususnya untuk penggunaan terestrial pada frekuensi yang lebih tinggi, pandangan propagasi RF yang sebenarnya di Manhattan didominasi oleh hilangnya sebaran dari hambatan fisik yang dapat mengakomodasi penyebaran perangkat berdaya rendah secara padat tanpa interferensi pada perangkat incumbent di sejumlah pita.

Kemajuan dalam pemodelan propagasi dan interferensi yang dapat menginformasikan kesadaran komputasi sistem koordinasi frekuensi otomatis meliputi:

Pemodelan Scatter Loss: Seperti disebutkan di atas, database GIS yang sangat terperinci yang dapat melakukan geolokasi kini tersedia, serta dapat secara berkala memperbarui semua hambatan fisik di sepanjang jalur antara pemancar akses bersama dan penerima incumbent, termasuk bangunan, pohon, dan struktur lainnya.

Pemodelan Tiga Dimensi: Memasukkan data mengenai clutter hanya akan menghasilkan awareness dalam dua dimensi, kecuali jika ketinggian bangunan, pohon, dan medan diperhitungkan. “Dalam penyebaran yang berfokus pada perusahaan, perumahan, dan dalam ruangan, sebagian besar jalur interferensinya akan bersifat vertikal, bukan horizontal,” ucap Marshall.¹⁵⁸ Pada kenyataannya, titik-titik akses yang terlihat berada di lokasi yang sama dengan model path loss yang kurang canggih sebenarnya bisa saja berjarak puluhan meter secara vertikal dan juga dipisahkan oleh beberapa lantai beton. Aturan path loss untuk

penggunaan di dalam ruangan saja – dan khususnya pada bangunan komersial yang dengan material yang lebih padat dan berbahan dasar mineral – dapat dianggap sangat berbeda dibandingkan dengan, misalnya, penggunaan di luar ruangan.¹⁵⁹

Pola Antenna: Kerangka proteksi TVWS yang ada (dengan pengecualian Aturan Model DSA) mengasumsikan perangkat TVWS memiliki antena segala arah. Sebaliknya, CBRS memungkinkan perangkat mengirimkan parameter yang menjelaskan arah dan lebar pancaran antena, sehingga memungkinkan terjadinya pemodelan koeksistensi yang lebih realistis.

Pemodelan Interferensi Agregat: Database dinamis – seperti SAS di CBRS – “memperkirakan dampak masing-masing penghasil emisi dalam ekosistem dan mengumpulkan total emisi dari masing-masing penghasil emisi.”¹⁶⁰ Oleh karena itu, SAS dapat meyakinkan para pengguna incumbent – khususnya Angkatan Laut AS – bahwa interferensi agregat pada pita di wilayah pesisir tidak akan melebihi ambang batas bahaya tertentu.

Konsep terkait adalah meningkatnya minat terhadap ‘zona proteksi dinamis’, dibandingkan ‘zona pengecualian’ yang kaku dan terlalu protektif yang menjadi karakteristik akses bersama terhadap saluran TV kosong di AS. Apakah sistem koordinasi frekuensi otomatis mengizinkan pengguna baru dalam jarak tertentu dari lokasi transmisi atau penerimaan incumbent harus bervariasi tergantung pada daya, ketinggian, dan karakteristik lain dari perangkat yang membuat permintaan. Sistem DSM dapat menghitung hal ini berdasarkan semua data awareness yang tersedia. Peraturan AFC yang diadopsi oleh FCC untuk operasi RLAN di 6 GHz menganut konsep ini dengan mengizinkan AFC untuk mengotorisasi penggunaan saluran dengan daya lebih rendah di kontur proteksi luar di dekat sambungan tetap (FS), daripada melarang penggunaan sepenuhnya.

B. Penginderaan Spektrum dan AI

Meskipun data GIS memberikan sekumpulan input yang lebih nyata namun umumnya statis terhadap koordinasi frekuensi, penginderaan spektrum dapat

memberikan sekumpulan input yang lebih *real-time* dan dinamis. Sama seperti database koordinasi spektrum, teknologi penginderaan spektrum dan modulasi telah ada selama beberapa dekade. Sensor spektrum secara rutin digunakan untuk mengukur perubahan tingkat kebisingan dan penggunaan aktual pita frekuensi, termasuk oleh “observatorium spektrum” yang mengukur perubahan okupansi spektrum, tren, dan anomaly, baik secara *real-time* maupun dalam jangka waktu yang lama.¹⁶⁰ Yang baru adalah upaya untuk menggabungkan penginderaan “untuk memungkinkan akses non-primer ke spektrum yang tidak terpakai oleh perangkat berlisensi atau tidak berlisensi.”¹⁶²

Ketika dirancang sebagai input untuk DSMS, sistem pemantauan spektrum dapat menambahkan data unik tentang lingkungan spektral aktual di suatu area, dan secara *real-time*.¹⁶³ Secara umum, kelompok kerja Komite Penasihat Manajemen Spektrum Departemen Perdagangan AS (CSMAC) mengidentifikasi empat bidang penerapan utama dalam penginderaan spektrum:

- (1) Mengukur peluang dan mendukung tindakan regulasi sebelum melakukan bagi-pakai;
- (2) Mendukung proses bagi-pakai setelah spektrum ditetapkan untuk pembagian secara operasional;
- (3) Menilai tren penggunaan dan interferensi dan menilai modifikasi aturan lebih lanjut setelah operasi spektrum bersama dilaksanakan; dan
- (4) Mendukung persyaratan penegakan NRA.¹⁶⁴

Sebagaimana dijelaskan pada bagian CBRS, untuk memproteksi sistem radar Angkatan Laut di kapal yang bergerak secara tidak terduga (dan berdasarkan klasifikasi), operator SAS diharuskan untuk menyebarkan jaringan sensor (ESC) di sepanjang garis pantai negara. Sensor-sensor tersebut ditempatkan pada interval yang sesuai dengan ukuran Zona Proteksi yang dirancang untuk mendeteksi radar di atas ambang batas yang telah ditentukan dan untuk mengaburkan lokasi spesifik kapal Angkatan Laut. ESC melaporkan data penginderaan secara *real-time* ke SAS, yang memiliki waktu 300 detik untuk memberi tahu perangkat di Zona Proteksi agar melakukan pengosongan ke saluran lain. Perangkat harus dipindahkan ke penetapan saluran sementara yang baru dalam waktu 60 detik.¹⁶⁵

Meskipun penerapan ESC pada pita CBRS terbukti terlalu preklusif, penerapan ESC kemungkinan besar juga merupakan pendahulu bagi berbagai penerapan penginderaan dan pemantauan di masa mendatang. Jaringan penginderaan dapat ditetapkan dan ditargetkan secara geografis berdasarkan suatu tujuan (seperti mencapai tingkat pembagian yang lebih tinggi di wilayah inti perkotaan, atau misi proteksi incumbent tertentu, seperti yang dilakukan ESC dalam kaitannya dengan radar angkatan laut). Di masa depan, kemungkinan besar penginderaan spektrum akan ditingkatkan secara signifikan dengan menerapkan teknik pembelajaran mesin atau *machine learning* (ML) dan pembelajaran mendalam atau *deep learning* (DL). Misalnya, sebuah penelitian menerapkan pembelajaran mendalam untuk meningkatkan deteksi gelombang radar di pita CBRS.¹⁶⁶

Jaringan penginderaan juga dapat bersifat mobile – misalnya, mengumpulkan dan memindahkan pengukuran okupansi spektrum secara terus-menerus dari sensor yang dipasang di atap pada armada polisi, taksi, dan/atau kendaraan layanan pengiriman yang ada di mana-mana. Meskipun input penginderaan ini tidak bersifat kontinu, namun jika digabungkan, input ini berpotensi mencakup wilayah yang lebih luas dengan pengukuran dari serangkaian lokasi yang sangat beragam dan dinamis dari waktu ke waktu. Input penginderaan mungkin paling efektif diperoleh melalui *crowdsourcing* oleh perangkat pengguna dengan lokasi yang diketahui dan berhubungan secara teratur dengan sistem koordinasi frekuensi.¹⁶⁷

Kemajuan pesat dalam bidang AI baru-baru ini kemungkinan akan meningkatkan kemampuan dan efisiensi sistem manajemen spektrum dinamis, terutama ketika data penggunaan spektrum lokal tersedia hampir secara *real-time* pada DSMS. Kelompok Kebijakan Spektrum Radio Uni Eropa menyatakan hal ini dalam surveinya pada tahun 2021 mengenai kemajuan dalam pembagian spektrum: “AI dan teknologi penunjangnya. . . [dapat] meningkatkan dan mempercepat proses koordinasi, menawarkan akses dinamis terhadap spektrum tertentu, dengan cara yang responsif sesuai dengan kebutuhan layanan tertentu (periode penggunaan, jangkauan, kapasitas, dll).”¹⁶⁸ Laporan RSPG menyatakan bahwa penerapan teknik AI pada informasi yang dikumpulkan melalui “penginderaan spektrum kolaboratif” dapat

“mendukung pemberian spektrum yang hampir seketika untuk persyaratan akses seluler ad hoc seperti yang mungkin diperlukan untuk aplikasi Internet of Things.”

C. Incumbent Informing Capability

Koordinasi frekuensi dinamis merupakan tantangan yang paling besar ketika pengguna prioritas incumbent tidak “tetap” sehubungan dengan geolokasi dan/atau waktu pengoperasian. Seperti yang telah diuraikan sebelumnya di bagian yang menjelaskan penginderaan spektrum sebagai input pada SAS yang memproteksi operasi radar Angkatan Laut AS pada pita CBRS 3,5 GHz, penginderaan pasif tidak terlalu memberatkan bagi operator incumbent, namun juga terbukti memakan biaya besar dalam penerapannya, seringkali tidak akurat (karena hasil positif palsu), dan terlalu preklusif, sehingga mengakibatkan pemanfaatan spektrum prima menjadi kurang optimal. Dalam laporan bulan Desember 2022 tentang “pelajaran yang diambil” dari CBRS, Dewan Penasihat Teknologi FCC merekomendasikan bahwa “mendeteksi aktivitas incumbent hanya dengan menggunakan sensor khusus harus dihindari.” TAC merekomendasikan bahwa “pilihan lain harus dijajaki, termasuk Incumbent Informing Capability (IIC), yang merupakan versi terbatas yang telah diterapkan oleh Departemen Pertahanan dalam pita CBRS.”¹⁶⁹

Menanggapi pengalaman dengan CBRS dan meningkatnya permintaan komersial untuk berbagi spektrum yang tidak terpakai di pita pemerintah lainnya, Departemen Perdagangan AS telah mengusulkan untuk menciptakan Incumbent Informing Capability (IIC) yang akan secara proaktif menginformasikan koordinasi di antara pengguna pemerintah (mengingat banyak lembaga berbagi-pakai spektrum) dan dengan sektor swasta. Dalam makalah tahun 2021, direktur dan staf Kantor Manajemen Spektrum dari Departemen menggambarkan IIC sebagai “mekanisme untuk memberikan informasi yang lebih andal kepada 'pendatang baru' dalam pita spektrum bersama ketika sistem federal incumbent beroperasi dalam jarak yang berdekatan dan oleh karena itu perlu terproteksi.” Mereka menyatakan bahwa dengan melaporkan lokasi dan waktu dimana operasi federal memerlukan proteksi, IIC “dapat mengganti lapisan tambahan dari teknik berbagi-pakai seperti kemampuan penginderaan lingkungan (ESC)” dengan “Sistem Koordinasi Spektrum (SCS) yang ditingkatkan dan hampir *real-time*.”¹⁷⁰

IIC Incumbent Informing Capability



Gambar 22: Usulan Incumbent Informing Capability (Sumber: NTIA, Departemen Perdagangan AS)

Seperti yang ditunjukkan oleh diagram tersebut, pengguna pemerintah akan secara afirmatif melaporkan informasi operasional (waktu, lokasi, frekuensi, daya) ke IIC, yang pada gilirannya akan berinteraksi secara aman dengan Sistem Koordinasi Spektrum resmi, atau DSMS, selanjutnya SAS saat ini dalam CBRS akan memberikan atau membatalkan izin terbatas waktu untuk melakukan transmisi ke pengguna komersial dan mungkin pengguna sekunder. IIC juga akan memasukkan “proses untuk menyelesaikan interferensi secara *real-time* (yaitu, ketika operasi incumbent sedang berlangsung) untuk mencegah dampak terhadap operasi federal yang penting.” Dengan secara efektif menciptakan DSMS sisi pemerintah, badan tersebut menyatakan bahwa mereka “mengharapkan kemampuan untuk berkembang dari waktu ke waktu menuju paradigma pembagian spektrum yang dinamis dalam pita-pita tertentu di mana 'semua pihak mendapat informasi',” dan selaras dengan Pernyataan Visi dari badan tersebut mengenai “akses spektrum kapan saja dan di mana saja untuk semua pengguna.”¹⁷¹

IIC dapat mempercepat pembagian spektrum federal yang kurang termanfaatkan – khususnya pada pita yang saat ini didedikasikan seluruh atau sebagian besar untuk penggunaan radar militer (misalnya, 3,1-3,65 GHz, 10 GHz, sebagian dari 5 GHz).

Terdapat dukungan dua partai yang kuat di Kongres AS. Pada tahun 2022, undang-undang yang mendanai pembentukan IIC, bersama dengan persyaratan bahwa pengguna spektrum federal menyediakan informasi operasional, disahkan oleh Dewan Perwakilan Rakyat AS dan hampir disahkan oleh Senat sebagai bagian dari rancangan undang-undang yang lebih besar untuk memperbarui otoritas lelang FCC.¹⁷² Undang-undang tersebut kemungkinan akan diberlakukan kembali dan disahkan pada tahun 2023.

D. Layanan Nilai Tambah oleh Operator DSMS

Operator DSMS memiliki kemampuan untuk menambahkan layanan bernilai tambah bagi pemain incumbent dan pendatang baru, yang juga dapat membantu mengimbangi biaya koordinasi. Layanan bernilai tambah ini, meskipun tidak diwajibkan oleh NRA, dapat membantu pengguna mengoptimalkan kualitas layanan, memfasilitasi dan menyederhanakan transaksi pasar sekunder swasta, mendaur ulang data penginderaan spektrum dari crowdsourcing, menggabungkan data GIS yang lebih terperinci untuk memungkinkan berbagi-pakai yang lebih intensif, dan inovasi lain yang berasal dari kesadaran pengguna dan lingkungan yang lebih dinamis dan kaya akan data.

Ofcom mengakui hal ini dalam Lapornya pada tahun 2016 tentang Kerangka Pembagian Spektrum: “Di masa depan, konsep ini berpotensi diperluas untuk mengelola akses antar pihak yang oportunistik, sehingga meningkatkan kualitas layanan.”¹⁷³

Terdapat beberapa contoh layanan bernilai tambah dalam pita bersama. Misalnya, Spectrum Bridge, salah satu operator Database Band TV yang disertifikasi oleh FCC, dengan cepat menemukan adanya pasar untuk menyediakan data okupansi pita kepada pengguna incumbent, khususnya operator mikrofon nirkabel berlisensi yang dapat memperoleh manfaat dengan menemukan saluran terbersih yang tersedia di lokasi dan waktu tertentu. Comsearch, yang disertifikasi oleh FCC untuk mengoordinasikan dan mendaftarkan sambungan point-to-point pada pita 70/80/90 GHz (dan diuraikan lebih lanjut di atas), juga menyediakan analisis pra-koordinasi dan layanan lainnya kepada pemegang lisensi. Dalam kerangka CBRs, operator SAS memiliki kemampuan untuk membantu mengoptimalkan koeksistensi di antara pengguna tidak berlisensi (GAA) yang tidak memiliki hak atas proteksi interferensi. Ofcom juga mengamati, sehubungan dengan koordinasi pembagian saluran TVWS tanpa izin, bahwa NRA dapat memutuskan bahwa bantuan koeksistensi ini – yang bertujuan untuk mengoptimalkan kualitas layanan – harus menjadi layanan opsional dan bernilai tambah.¹⁷⁴

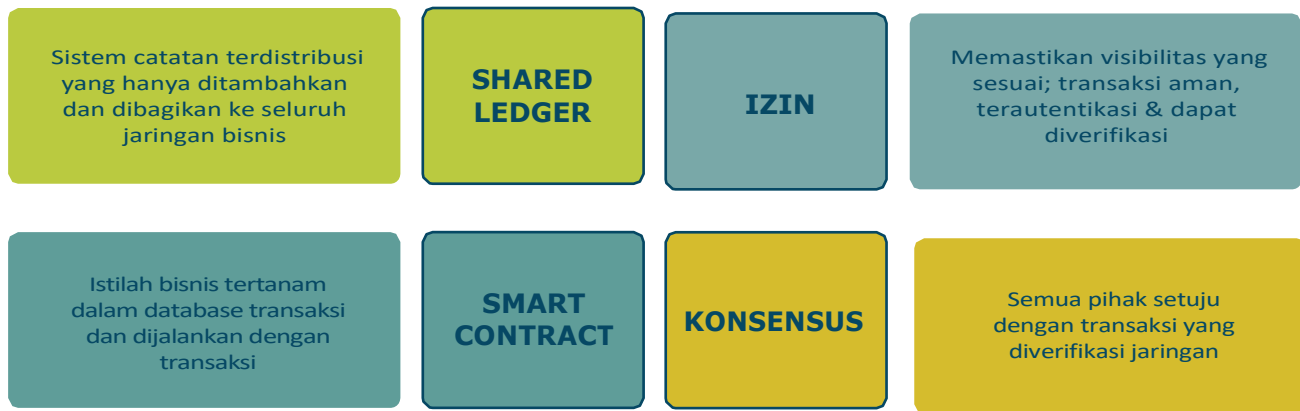
E. Teknologi Blockchain

Teknologi Blockchain, yang terkenal dengan aplikasi awalnya untuk mencatat transaksi Bitcoin, menerapkan buku besar bersama dan terdistribusi yang menyediakan cara untuk mencatat transaksi dan melacak aset di antara pihak-pihak yang terverifikasi dengan biaya yang rendah dan aman. Tujuan utama blockchain adalah membuat catatan transaksi tunggal dan berurutan di antara pihak-pihak yang terverifikasi. Setiap catatan transaksi merupakan sebuah ‘blok’ dan ‘dirangkai’ bersama-sama secara berurutan, terverifikasi, aman dari serangan siber, dan disimpan dalam database terdistribusi permanen yang meminimalisir biaya transaksi. Blockchain dapat diterapkan pada berbagai macam aset dan transaksi, baik yang

berwujud (real estat, sewa mobil) atau tidak berwujud (paten, hak cipta), termasuk –potensi – transaksi berbagi-pakai spektrum dan pasar sekunder.¹⁷⁵

Blockchain mungkin memiliki potensi untuk meningkatkan koordinasi frekuensi dan transaksi pasar sekunder, khususnya pada pita bersama yang memerlukan (atau mendapat manfaat dari) koordinasi database. Blockchain tidak hanya mempercepat transaksi dan meminimalisir biaya, tetapi juga menjamin transparansi dan kepercayaan, termasuk di antara regulator dalam konteks yang dirancang untuk memfasilitasi tujuan kebijakan publik. Dalam konteks tersebut, blockchain dapat menjadi jaringan berlisensi yang terbatas pada pihak-pihak, atau jenis transaksi, yang telah disetujui sebelumnya oleh NRA atau otoritas sertifikasi lainnya. Dalam beberapa skenario (misalnya, transaksi pasar sekunder pada pita berlisensi eksklusif) ini mungkin merupakan solusi database yang tepat; sedangkan dalam skenario lain hal ini mungkin meningkatkan fungsionalitas database koordinasi spektrum atau, dalam situasi lain, tidak menambah nilai yang cukup untuk justifikasi biaya overhead tambahan bagi pengguna.¹⁷⁶

Setidaknya ada tiga kemungkinan penerapan yang telah diuraikan oleh regulator, akademisi, dan pihak lain: Pertama, blockchain berpotensi meningkatkan koordinasi dan mengurangi interferensi di antara pengguna pita bersama, khususnya pita yang tidak berlisensi atau berlisensi berdasarkan aturan, seperti mikrofon nirkabel (PMSE) dan operator hotspot Wi-Fi. Penerapan ini adalah fokus awal dari uji coba blockchain yang dilakukan oleh Agence Nationale Des Fréquences dari Perancis.¹⁷⁷ Uji coba ini berfokus pada pita frekuensi 2,4 dan 5 GHz yang tidak berlisensi, serta spektrum pita TV antara 470 MHz dan 789 MHz yang digunakan oleh mikrofon nirkabel untuk pembuatan program dan acara khusus (PMSE).¹⁷⁸ ANFR meyakini bahwa PMSE adalah kandidat utama untuk blockchain karena mikrofon bisa sangat padat di acara-acara besar dan mungkin sulit bagi regulator untuk mengoordinasikannya secara efektif guna menghindari interferensi.¹⁷⁸ ANFR berharap dapat memanfaatkan blockchain ini untuk mengoordinasikan PMSE dalam skala besar selama Olimpiade Paris 2024.¹⁸⁰



Gambar 23: Konsep kunci dari blockchain untuk transaksi bisnis¹⁸¹

Penerapan potensial kedua untuk blockchain adalah untuk memverifikasi dan melaksanakan perjanjian pembagian spektrum antara pengguna primer dan sekunder dalam spektrum berlisensi. Keuntungan yang diantisipasi dari blockchain spektrum adalah bahwa transaksi pasar sekunder dapat diotomatisasi, tunduk pada kondisi yang telah ditentukan sebelumnya, dan transparan bagi pengguna yang diizinkan serta regulator.¹⁸² Dalam satu skenario, pemegang lisensi utama dapat terus memperbarui spektrum yang tersedia untuk lelang jangka pendek kepada pihak lain yang berkepentingan.

Blockchain memvalidasi dan mencatat semua transaksi, dengan ketentuan lisensi (seperti jangka waktu) diberlakukan secara otomatis sesuai dengan ketentuan “smart contract” standar yang terkait dengan setiap blok (catatan transaksi).¹⁸³ Misalnya, sebuah makalah pada tahun 2017 mengusulkan blockchain dan smart contract sebagai cara yang efisien untuk mengelola perjanjian tingkat layanan bagi operator jaringan seluler yang mencari “sel kecil sebagai layanan” secara lokal dan sesuai permintaan.¹⁸⁴

Penerapan potensial ketiga untuk blockchain adalah otomatisasi penegakan ex-post. Ketika koordinasi frekuensi otomatis meningkatkan intensitas dan kuantitas penggunaan bersama di antara banyak pengguna, database seperti SAS untuk CBRS berpotensi dimanfaatkan untuk menurunkan biaya pelaksanaan dengan membuat catatan transaksi permanen dan dengan mengotomasi langkah-langkah ex-post tertentu setelahnya.¹⁸⁵ Para akademisi telah menyarankan agar blockchain dapat dimasukkan ke

dalam database DSMS untuk memfasilitasi pelaksanaan “hak kolektif” pengguna sekunder selain hak proteksi interferensi dari incumbent.¹⁸⁶ Hal ini juga dapat digunakan oleh regulator untuk memungut biaya ‘pay-as-you-go’ (bayar sesuai pemakaian) atas penggunaan spektrum, termasuk biaya variabel berdasarkan prioritas atau kemacetan.

Penting untuk disadari bahwa meskipun mengandalkan blockchain untuk berkoordinasi di antara pengguna yang “diizinkan” yang diverifikasi oleh regulator, seperti operator PMSE berlisensi, dapat menjustifikasi biaya transaksi, dalam sebagian besar skenario yang melibatkan pita frekuensi tidak berlisensi atau pita bersama yang terbuka untuk penggunaan umum (seperti pita Wi-Fi bebas lisensi, atau General Authorized Access dalam kerangka CBRS FCC), blockchain mungkin tidak terukur atau hemat biaya.¹⁸⁷ Misalnya, mewajibkan setiap perangkat dalam pita dengan traffic tinggi untuk mendaftarkan lokasinya dan memantau aktivitas pada blockchain yang terdesentralisasi dapat menimbulkan biaya overhead yang melebihi manfaat apa pun.¹⁸⁸ Terkait hal ini, RSPG dalam survei pembagian spektrumnya pada tahun 2021 menyatakan bahwa “untuk memungkinkan pengoperasian blockchain dan memvalidasi transaksi, serangkaian sumber daya radio yang sesuai biasanya perlu tersedia setiap saat untuk komunikasi antar node, meningkatkan overhead dan mengurangi kapasitas bersih yang tersedia.”¹⁸⁹ Tampaknya juga tidak mungkin bahwa blockchain dapat berfungsi sebagai “mesin perhitungan” dalam lingkungan koordinasi frekuensi dinamis yang menggabungkan data lingkungan (misalnya, GIS atau data penginderaan dinamis atau data okupansi) atau memperhitungkan parameter teknis yang heterogen atau berubah-ubah di antara pengguna dalam pita.

6. KESIMPULAN & REKOMENDASI KEBIJAKAN

Ketika permintaan akan konektivitas nirkabel terus meningkat, penggunaan database untuk mengoordinasikan pembagian spektrum yang lebih intensif dan efisien telah muncul sebagai alat regulasi yang penting. Regulator di sejumlah negara telah mengizinkan database koordinasi frekuensi otomatis dan bahkan dinamis untuk mengelola penetapan pada pita frekuensi bersama. Sistem manajemen spektrum dinamis ini telah terbukti dapat memproteksi operasi incumbent, termasuk sistem keamanan militer dan publik, dari interferensi yang berbahaya. Meskipun koordinasi database spektrum bukanlah hal yang baru, dalam beberapa tahun terakhir koordinasi telah berkembang dari manual, menjadi otomatis, dan menjadi dinamis – menambahkan otomatisasi dan pemodelan propagasi ke data lisensi statis. Solusi database kini telah aktif, mulai dari pita frekuensi rendah dan sedang hingga tinggi, dan dengan berbagai tingkat kompleksitas.

Teknologi DSMS kini sudah cukup matang, terukur, aman dan tersedia sebagai layanan dari sejumlah penyedia komersial papan atas. Tidak ada keraguan bahwa NRA saat ini memiliki kemampuan teknis untuk mengotomatisasi koordinasi frekuensi dan dengan demikian menurunkan biaya transaksi, menggunakan spektrum secara lebih efisien, mempercepat waktu ke pasar, memproteksi para incumbent dari interferensi secara lebih pasti, dan memperluas pasokan konektivitas nirkabel secara umum yang dengan cepat menjadi, seperti halnya listrik, input penting bagi sebagian besar industri dan kegiatan ekonomi lainnya. Solusi DSMS dinilai baik bagi konsumen, pendatang baru yang kompetitif, dan inovasi, dengan menjadikan konektivitas nirkabel lebih mudah diakses, cepat, dan terjangkau.

DSMS dapat berfungsi sebagai pengganda kekuatan bagi regulator: Dengan mengotomatisasi penetapan dan memantau penggunaan, database dapat meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya spektrum nasional sekaligus memperkuat pelaksanaan dan memastikan proteksi kepada pengguna incumbent dengan prioritas lisensi yang lebih tinggi. Ketersediaan, fleksibilitas dan keandalan sistem DSM membantu NRA memenuhi kebutuhan spektrum yang terus berkembang dan sangat beragam baik bagi industri maupun individu.

Rekomendasi Kebijakan DSA:

- NRA harus mengupayakan pendekatan akses bersama yang dinamis pada pita mana pun yang kurang termanfaatkan (misalnya, 6 GHz, 3,8-4,2 GHz) di mana pembagian yang terkoordinasi adalah tepat dan praktis untuk diterapkan.
- NRA harus mengizinkan solusi database yang paling sederhana yang akan mencapai tujuan peraturan – dan hanya memerlukan koordinasi frekuensi secara langsung melalui DSMS (bukan melalui proses yang lebih lambat atau lebih mahal).
- NRA harus mengadopsi peraturan yang jelas, namun tidak menentukan teknologi atau standar tertentu untuk DSMS.
- Memberikan konsultasi kepada industri dan menyelenggarakan proses yang representatif dan melibatkan banyak pemangku kepentingan untuk mengembangkan dan membantu penerapan DSMS dapat membantu menghemat sumber daya lembaga dan memanfaatkan keahlian industri.
- Mempelajari dan mempertimbangkan penerapan praktik terbaik yang dikembangkan oleh industri atau NRA lainnya, terutama jika hal tersebut dapat mempercepat waktu ke pasar dan mendorong harmonisasi secara regional atau global (misalnya, aturan model DSA untuk TVWS, atau Open AFC untuk 6 GHz).
- NRA harus mempertimbangkan manfaat dari sertifikasi entitas sektor swasta untuk mengelola DSMS – atau, jika diperlukan, beberapa penyedia DSMS yang bersaing – namun selalu dengan kepatuhan yang ketat terhadap peraturan lembaga.
- Negara-negara kecil dengan banyak perbatasan, atau yang tidak mempunyai pasar domestik yang besar, harus mempertimbangkan efisiensi pendekatan regional terhadap koordinasi frekuensi, seperti DSMS bersama atau saling terkoneksi.
- Jika memungkinkan, akan lebih hemat biaya jika memanfaatkan DSMS dan operator untuk mengelola banyak pita, daripada memerlukan serangkaian sistem terpisah.
- Mewajibkan – atau setidaknya mengizinkan – koordinator DSMS untuk menggunakan data GIS paling terperinci dan nyata yang tersedia untuk pemodelan propagasi dan interferensi.
- Mengizinkan operator DSMS untuk bereksperimen dan menghasilkan pendapatan dari layanan bernilai tambah selain layanan koordinasi dasar yang mematuhi aturan NRA.

Ucapan Terima Kasih: Dynamic Spectrum Alliance menyampaikan terima kasih kepada para anggotanya yang telah membantu terwujudnya laporan ini, khususnya penulis utama laporan ini, Michael Calabrese (New America). Dengan ini kami juga menyampaikan terima kasih kepada Martha Suarez (DSA President), Chuck Lukaszewski dan David Wright (HPE Aruba Networks), Jennifer McCarthy (Federated Wireless), Bill Davenport (Cisco), Michael Daum (Microsoft), Alan Norman (Meta), Pasquale Cataldi (Policy Impact Partners), Andrew Clegg dan Preston Marshall (Google), dan Mark Gibson (Comsearch), yang semuanya berperan sebagai peninjau, editor, dan penasihat laporan ini dan/atau edisi asli tahun 2019.

CATATAN KAKI:

- ¹ Ray Baum's Act of 2018, Pub. L. 115–141, § 614, 132 Stat. 1080, 1109 (2018). FCC dan Departemen Perdagangan AS merilis permintaan komentar (RFC) mengenai Strategi Spektrum Nasional pada 15 Maret 2023. RFC secara khusus meminta input terhadap proposal Manajemen Spektrum Departemen Perdagangan untuk mengembangkan DSMS pemerintah – suatu *Incumbent Informing Capability* – dengan tujuan mendorong pembagian pita pemerintah federal yang lebih efisien baik di kalangan pengguna federal maupun oleh sektor swasta.
- ² European Communications Office, ECC Work Programme Database, “Higher power WAS/RLAN in 5945-6425 MHz,” Working Group SE45, Reference FM 58 (Tanggal mulai 6 Oktober 2022), https://eccwp.cept.org/WI_Detail.aspx?wiid=811.
- ³ Id.
- ⁴ European Commission, Radio Spectrum Policy Group, “RSPG Opinion on Spectrum Sharing—Pioneer Initiatives and Bands,” RSPG21-022, Final (21 Juni 2021), https://radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu/system/files/2023-01/RSPG21-022final_RSPG_Opinion_Spectrum_Sharing.pdf.
- ⁵ Office of Communications (Ofcom), Laporan “A Framework for Spectrum Sharing,” pada 27 (14 April, 2016) (“Ofcom 2016 Statement”), tersedia di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0028/68239/statement.pdf. Lihat juga Ofcom, Strategi Manajemen Spektrum (30 April 2014), tersedia di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0021/71436/statement.pdf.
- ⁶ Ofcom, “Ofcom’s Plan of Work 2022/2023” (25 Maret 2022), https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0019/234334/Statement-Plan-of-Work-2022_23.pdf. Lihat juga Ofcom, “Enabling Opportunities for Innovation: Shared Access to Spectrum Supporting Mobile Technology,” Konsultasi, pada 6 (18 Desember 2018) (Konsultasi Ofcom 1018), tersedi di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0022/130747/Enabling-opportunities-for-innovation.pdf
- ⁷ Laporan Ofcom 2016
- ⁸ Lihat Persatuan Telekomunikasi Internasional, “Pengantar Sistem Persinyalan CCITT 7,” tersedia di <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.700-199303-I/en.SS7> jaringan dikerahkan oleh AT&T dan MCI WorldCom pada tahun 1989. Lihat AT&T untuk menyebarkan SS7 pada akhir tahun, Komunikasi Data, 1 Agustus 1989; R.N. Lane, Arthur D. Little Decision Resources, Ind. Rpt. No. 1023667, Carrier Provisions of SS7 Services - Industry Report, pada 2 (1 September 1989).
- ⁹ Dalam peraturannya, Komisi Komunikasi Federal AS (FCC) mendefinisikan database terkait panggilan sebagai database yang digunakan “untuk penagihan dan pengumpulan atau transmisi, routing, atau penyediaan layanan telekomunikasi lainnya.” 47 C.F.R. § 51.319(e)(2). Database tersebut mencakup Line Information Database (LIDB), database Panggilan Bebas Pulsa, database portabilitas nomor, dan database AIN.
- ¹⁰ “Untuk memfasilitasi solusi porting jenis ini [penerusan], penyedia komunikasi biasanya memiliki database umum yang menyimpan rincian terkini nomor porting dan penyedia mereka saat ini yang dapat mereka gunakan sebagai sumber informasi routing.” Office of Communications (Ofcom), “Routing Calls to Ported Telephone Numbers,” Laporan (1 April 2010), tersedia di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0023/45653/statement.pdf.
- ¹¹ Pada tahun 1997 Neustar menerapkan dan menyebarkan “database portabilitas nomor pertama di dunia,” menurut National Portability Administration Center (NPAC). Lihat NPAC, <https://www.npac.com/number-portability/the-npac-neustar-1np>.

- 12** Untuk gambaran umum non-teknis, lihat Wikipedia, Network Switching Subsystems, tersedia di https://en.wikipedia.org/wiki/Network_switching_subsystem#Description.
- 13** Diambil dari Rus Shuler, How Does the Internet Work? (Pomeroy IT Solutions, 2002), tersedia di <https://web.stanford.edu/class/msande91si/www-spr04/readings/week1/InternetWhitepaper.htm>.
- 14** Sistem AFC dikenal dengan nama berbeda di berbagai pita frekuensi, seperti "Spectrum Access System" (SAS) di 3,5 GHz di AS, "TV Bands Databases" (TVDB) di banyak negara, dan "Licensed Shared Access Controller" (LSA) di Eropa.
- 15** Contohnya adalah Wireless Innovation Forum (WInnForum), sebuah badan standar industri yang ditunjuk oleh FCC untuk mengembangkan standar dan protokol untuk implementasi berbagi-pakai dinamis tiga lapis dalam Citizens Broadband Radio Service (CBRS) yang baru pada 3550-3700 MHz, sesuai dengan Pasal 96 peraturan Komisi. Lihat CBRS WInnForum Standards, tersedia di <https://cbrs.wirelessinnovation.org/>
- 16** M. Höyhtyä, J. Ylitalo, X. Chen, dan A. Mämmelä, "Use of databases for dynamic spectrum management in cognitive satellite systems," dalam Cooperative and Cognitive Satellite Systems, S. Chatzinotas, B. Ottersten, dan R. De Gaudenzi, Eds. (San Francisco, CA, 2015), pada 337-371.
- 17** Lihat Laporan ECC 236 pada 30-32. NRA biasanya menjalankan proses persetujuan untuk memastikan operator memiliki kualifikasi yang baik. Di AS, FCC telah mensertifikasi beberapa operator database komersial di beberapa pita frekuensi bersama, termasuk pita 70/80/90 GHz, TV White Space, dan CBRS. Badan ini meminta komentar publik mengenai seleksi tersebut, selain memerlukan kualifikasi tertentu dan periode pengujian pra-sertifikasi.
- 18** Komite Komunikasi Elektronik, Konferensi Pos dan Telekomunikasi Eropa (CEPT), "Panduan implementasi nasional kerangka peraturan untuk TV WSD menggunakan database geolokasi," Laporan ECC 236 (Mei 2015). Sebagai contoh, Laporan tersebut menyatakan bahwa "di beberapa negara CEPT, akses PMSE [mikrofon nirkabel] dikecualikan dari lisensi dan terdaftar . . . kurangnya informasi tersebut merupakan tantangan utama dalam memproteksi PMSE dari WSD [White Space Devices]." Id. pada 28.
- 19** Dalam konteks AS, contohnya adalah proposal FCC tahun 2018 yang memberikan wewenang kepada operator broadband nirkabel tetap untuk mengoordinasikan penerapan point-to-multipoint yang dilokalisasi ke dalam frekuensi yang tersedia di sebagian satelit C-Band pada 3700-4200 MHz. Stasiun bumi yang menerima downlink pada pita tersebut saat ini tidak diwajibkan untuk melaporkan frekuensi apa yang sebenarnya mereka gunakan, informasi yang diindikasikan oleh FCC akan diperlukan jika pembuatan peraturan telah mengadopsi kerangka pembagian yang terkoordinasi. Lihat Notice of Proposed Rulemaking, Memperluas Penggunaan Fleksibel Pita 3,7 hingga 4,2 GHz, Order and Notice of Proposed Rulemaking, GN Docket No. 18-122, FCC 18-91 (13 Juli 2018).
- 20** Lihat Laporan ECC 236 pada 28-29.
- 21** Id. at 36-40 (discussing various cost recovery and fee options)
- 22** Lihat Laporan ECC 236 pada 25.
- 23** Contohnya adalah penelitian Ofcom dan peraturan proteksi yang dihasilkannya, yang juga digunakan sebagai dasar Aturan Model DSA untuk berbagi-pakai TV White Space. Lihat Ofcom, Implementing TV White Spaces, Laporan, Lampiran 9 (12 Februari, 2015), tersedia di https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0025/58921/annexes.pdf.
- 24** Lihat Preston Marshall, Spektrum Bersama Tiga Lapis, Infrastruktur Bersama, dan Jalan Menuju 5G (Cambridge Univ. Press, 2017), pada 80-81 dan 104-110 untuk gambaran umum berbagai opsi pemodelan propagasi dan interferensi
- 25** Pada saat yang sama, terdapat trade-off yang perlu dipertimbangkan sehubungan dengan biaya untuk menyertakan data yang lebih granular, perlunya pembaruan yang lebih sering, dan bahkan propagasi pita. Misalnya, pada TV dan pita frekuensi rendah lainnya, clutter akan berdampak jauh lebih kecil terhadap penggunaan kembali spektrum dibandingkan pada pita frekuensi sedang dan tinggi. Regulator dapat memilih model propagasi yang kurang akurat pada awalnya untuk memberikan tingkat proteksi yang lebih tinggi kepada pengguna incumbent, seperti yang terjadi di AS dan Inggris. Aturan TV White Space, meskipun pengalaman dan kenyamanan yang lebih besar dengan koordinasi frekuensi otomatis, akan memungkinkan NRA memanfaatkan sepenuhnya potensi mereka untuk membuka akses ke bandwidth baru.
- 26** Lihat, misalnya, Laporan ECC 236 pada 29-30
- 27** Hal ini dibahas lebih lanjut di Bagian 5E mengenai potensi untuk mengintegrasikan fungsionalitas blockchain
- 28** Lihat Marshall pada 85-86.
- 29** Lihat Laporan ECC 236 pada 42.
- 30** Lihat Laporan ECC 236 pada 42, yang menyatakan bahwa operator database dapat mengumpulkan "banyak data tentang jenis perangkat dan karakteristik penggunaannya." Selain itu, "NRA mungkin memerlukan fungsi manajemen interferensi khusus dari database."

- 31** Lihat, misalnya, Federal Communications Commission, Universal Licensing System: Databases (unduh basis data ULS untuk layanan radio nirkabel tertentu tersedia dalam bentuk file zip, diperbarui setiap minggu dan dilengkapi dengan laporan transaksi harian), tersedia di <http://wireless.fcc.gov/uls/index.htm?job=transaction&page=weekly>; FCC, International Bureau Application Filing and Reporting System (IBFS) memungkinkan alat pengarsipan dan pencarian elektronik yang menyediakan akses ke informasi aplikasi terkini dan berbagai laporan), tersedia di <http://licensing.fcc.gov/prod/ib/forms/index.html>.
- 32** FCC, Memperluas Penggunaan Fleksibel dalam Spektrum Pita Menengah Antara 3,7 dan 24 GHz, Notice of Inquiry, FCC 17-104, GN Docket No. 17-183, pada 11/25, 35 (3 Agustus 2017). Analisis yang dilakukan oleh SNL Kagan memproyeksikan bahwa “didorong oleh lonjakan penggunaan data seluler, pada tahun 2025 lokasi menara akan tumbuh dengan CAGR sebesar 3,9%,” dan bahwa “akan terdapat lebih dari 200.000 menara dan lebih dari 400.000 lokasi yang digunakan dalam 10 tahun ke depan.” Lihat “Report Predicts Tower, Small Cell Outlook Through 2025,” RCR Wireless News (15 Juli 2015); tersedia di: <https://www.rcrwireless.com/20150715/cell-tower-news/report-predicts-towertrends-through-2025-tag20>.
- 33** 47 C.F.R. § 101.103. Untuk AS, aspek administratif dari proses koordinasi diatur dalam Pasal 101.103(d), dalam hal koordinasi stasiun terestrial dengan stasiun bumi, dan dalam Pasal 25.203, dalam hal koordinasi stasiun bumi dengan stasiun terestrial.
- 34** Lihat Daftar Federal AS, Layanan Satelit Tetap dan Sistem Terestrial di Ku-Band, Ringkasan, FCC First Report & Order, ET Docket No. 98-206 (rel. 8 Desember 2000), tersedia di <https://www.federalregister.gov/documents/2001/02/16/01-3710/fixed-satellite-service-and-terrestrial-system-in-the-ku-band>.
- 35** Lihat, misalnya, “Comsearch Microwave: Koordinasi Pakar Mencegah Interferensi Berbahaya,” tersedia di <https://www.comsearch.com/services/frequency-coordination-fcc-licensing/microwave/>
- 36** ECC, CEPT, “Layanan Tetap di Eropa: Penggunaan saat ini dan tren masa depan setelah 2016,” Laporan ECC 173 (diperbarui 27 April 2018). Demikian pula, di Inggris, Ofcom mengizinkan sambungan tetap point-to-point berdasarkan siapa yang datang lebih dulu, sesuai dengan kriteria koordinasi dan penetapan frekuensi teknis lembaga tersebut. Lihat Ofcom, Kriteria Penetapan Frekuensi Teknis untuk Layanan Radio Point-to-Point dengan Modulasi Digital (OfW 446), Juli 2018, tersedia di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0017/92204/ofw446.pdf.
- 37** Id. pada 2. Lihat juga Kantor Komunikasi Eropa, “Laporan ECO 04, Layanan Tetap di Eropa, Status Implementasi (3 Juli 2018).
- 38** Tunduk pada Peraturan FCC Pasal 95, American Society for Healthcare Engineering AHA ditunjuk sebagai koordinator frekuensi WMTS eksklusif. Lihat FCC, Layanan Telemetri Medis Nirkabel (WMTS), di <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/wireless-medical-telemetry-service-wmts>.
- 39** FCC, American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association (ASHE/AHA), di <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/wireless-medical-telemetry-service-wmts/american>
- 40** Pada tahun 2016, lembaga menyetujui manajer database pesaing ketiga, Key Bridge Global LLC, untuk pita 70/80/90 GHz. FCC, “Order and Notice kepada Manajer Database untuk Sistem Registrasi Sambungan 70/80/90 GHz Berdasarkan Subbagian Q Pasal 101,” Biro Telekomunikasi Nirkabel, WT Docket No. 13-291 (rel. 26 Agustus 2016)
- 41** FCC, “Biro Nirkabel Membuka Pengajuan Proposal untuk Mengembangkan dan Mengelola Database Independen Pendaftaran Lokasi oleh Penerima Lisensi pada Pita 71-76 GHz, 81-86 GHz dan 92-95 GHz,” Pemberitahuan Publik (rel. 12 Maret 2004).
- 42** Lihat secara umum FCC, Report and Order, Aturan Alokasi dan Layanan untuk Pita 71-76 GHz, 81-86 GHz, dan 92-95 GHz, WT Docket 02-146 (2003). Pita-pita tersebut dialokasikan untuk digunakan oleh Pemerintah Federal dengan dasar co-primary.
- 43** Diagram ini diadaptasi dari diagram yang diajukan bersama oleh tiga perusahaan yang pada awalnya mengusulkan untuk mengembangkan dan mengelola database independen pendaftaran lokasi/sambungan bagi pemegang lisensi pada pita 71-76 GHz, 81-86 GHz, dan 92-95 GHz. Surat Ex Parte dari Comsearch kepada FCC, Lampiran A, WT Docket No. 02-146 (9 September 2004), pada 5
- 44** Sifat rahasia dari beberapa operasi Pemerintah Federal menghalangi penggunaan database publik yang berisi hubungan pemerintah dan non-pemerintah. Lihat Aturan Alokasi dan Layanan untuk Pita 71-76 GHz, 81-86 GHz dan 92-95 GHz, WT Docket No. 02-146, Report and Order, di ¶ 48 (2003).
- 45** Lihat Biro Telekomunikasi Nirkabel Mengumumkan Proses Permanen untuk Pendaftaran Sambungan di Pita 71-76 GHz, 81-86 GHz, dan 92-95 GHz, Pemberitahuan Publik, DA 05-311 (rel. 3 Februari 2005). “Lampu hijau” menunjukkan bahwa sambungan tersebut dikoordinasikan dengan Pemerintah Federal; “Lampu kuning” menunjukkan potensi interferensi terhadap Pemerintah Federal atau operasi tertentu lainnya. Lihat secara umum 47 C.F.R. § 2.106 (US388, US389). Dalam kasus “lampu kuning”, pemegang lisensi harus mengajukan permohonan sambungan yang diminta kepada Komisi, yang pada gilirannya akan mengajukan permohonan ke NTIA untuk koordinasi individu.
- 46** Ofcom, “Pendekatan Manajemen Spektrum pada pita 71-76 GHz dan 81-86 GHz” (16 Desember 2013), tersedia di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0011/50240/statement.pdf.

- 47 Kementerian Perhubungan, Departemen Telekomunikasi, "Pedoman penjatahan operator E-Band (71-76/81-86 GHz) kepada Penyedia Layanan Telekomunikasi (TSP) dengan otorisasi/lisensi Layanan Akses dan memiliki Spektrum Akses pada pita IMT" (25 Juli 2022).
- 48 Suyash Ray, et al., "The Economics of Releasing the V-band and E-band Spectrum in India," National Institute of Public Finance and Policy (New Delhi), Makalah Kerja No. 226 (2 April 2018), pada 15-16, tersedia di http://www.nipfp.org.in/media/medialibrary/2018/04/WP_226.pdf.
- 49 Lihat Konferensi Pos dan Telekomunikasi Eropa, Komite Komunikasi Elektronik, "Akses Bersama Berlisensi (LSA)," Laporan ECC 205 (disetujui pada Februari 2014)
- 50 "Berdasarkan keputusan nasional, NRA (bersama dengan para pemangku kepentingan utama) perlu menegosiasikan persyaratan lisensi LSA sedemikian rupa sehingga ditemukan keseimbangan antara memberikan operator MFCN tingkat prediktabilitas yang memadai dalam akses mereka di masa depan ke pita frekuensi tersebut, dan di sisi lain memungkinkan pengembangan layanan incumbent di masa depan." Konferensi Pos dan Telekomunikasi Eropa, Komite Komunikasi Elektronik, "Pedoman operasional untuk berbagi-pakai spektrum untuk mendukung penerapan kerangka ECC saat ini pada rentang 3600-3800 MHz," Laporan ECC 254, pada 29 (disetujui pada 18 November 2016).
- 51 "Harmonisasi kondisi teknis dan peraturan untuk penggunaan pita 2300-2400 MHz untuk Jaringan Komunikasi Bergerak/Tetap (MFCN)," 27 Juni 2014, <https://docdb.cept.org/document/443>.
- 52 Arturas Medeisis, Vladislav Fomin dan William Webb, "Mengurai Paradoks Akses Bersama Berlisensi: Perlunya Fokus Ulang Peraturan," Kebijakan Telekomunikasi, Vol. 46 (Mei 2022)
- 53 Id.; lihat Maria Massaro dan Fernando Beltran, "Akankah 5G menghasilkan lebih banyak pembagian spektrum? Membahas perkembangan terkini dari kerangka berbagi spektrum LSA dan CBRS," Kebijakan Telekomunikasi, Vol. 44, Edisi 7 (Agustus 2020), <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.101973>
- 54 Lihat secara umum Laporan ECC 205, supra; Marshall pada 27-29
- 55 Marshall pada 29. Lihat juga Massaro dan Beltran, supra ("lambatnya implementasi LSA mungkin disebabkan oleh kurangnya kekuatan penegakan hukum dari badan-badan Eropa").
- 56 Lihat Marc Gelian Ante, et al., "Survei dan Perbandingan Implementasi TV White Space di Jepang, Filipina, Singapura, Inggris, dan Amerika Serikat," International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration, Vol 8 (Juli 2021), <https://www.accentjournals.org/paperInfo.php?journalPaperId=1315>.
- 57 Otoritas Komunikasi Independen Afrika Selatan (ICASA), "Peraturan tentang Penggunaan TV White Space," Pemberitahuan 147 tahun 2018 (23 Maret 2018), tersedia di <https://www.ellipsis.co.za/wp-content/uploads/2017/04/Regulations-on-Use-of-TVWS-23-March-2018.pdf>.
- 58 Untuk mengetahui latar belakang lebih lanjut mengenai keberhasilan penerapan percontohan dan latar belakang inisiatif Microsoft dalam memanfaatkan spektrum dinamis dan Ruang Putih TV untuk meningkatkan konektivitas, lihat <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/dynamic-spectrum-and-tv-white-spaces/>
- 59 Dynamic Spectrum Alliance, Model Peraturan dan Regulasi Penggunaan TV White Space, versi 2.0 (Desember 2017), tersedia di <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2018/01/Model-Rules-and-Regulations-for-the-use-of-TVWS.pdf>. Lihat juga Alistair Braden, "Mengaktifkan TVWS dan Proteksi Incumbent," Nominet Blog (15 Januari 2018), tersedia di <https://www.nominet.blog/long-read-enabling-tvws-protecting-incumbents/>
- 60 Selain itu, dua saluran TV kosong di setiap pasar lokal disisihkan untuk penggunaan eksklusif oleh mikrofon yang tidak berlisensi (non-siaran). Mikrofon nirkabel yang tidak berlisensi ini tetap memiliki akses ke saluran mana pun yang kosong, meskipun tidak secara eksklusif
- 61 Preston Marshall, Spektrum Bersama Tiga Lapis, Infrastruktur Bersama, dan Jalan Menuju 5G (Cambridge University Press, 2017), pada 23-24, 87.
- 62 FCC, Laporan dan Perintah Pertama, Amandemen Peraturan Komisi Terkait Operasi Komersial pada Pita 3550-3650 MHz, 30 FCC Rcd 3959 (2015), di 3962 (penekanan ditambahkan) ("Perintah CBRS"). Dalam perintah terakhirnya pada tahun 2016, FCC merangkum tujuan dari tiga lapis pembagiannya: "Layanan Radio Broadband Warga memanfaatkan kemajuan teknologi dan kebijakan spektrum untuk menghilangkan pembagian dalam peraturan lama antara pengguna komersial dan federal, otorisasi eksklusif dan non-eksklusif, serta jaringan swasta dan operator." FCC, Perintah Peninjauan Kembali dan Laporan dan Perintah Kedua, Perubahan Peraturan Komisi Terkait Operasi Komersial pada Pita 3550-3650 MHz, GN Docket 12-354 (2016), tersedia di https://apps.fcc.gov/edocs_attachmatch/FCC-16-55A1.pdf.
- 63 Testimoni James Assey, NCTA-The Internet & Television Assn., Komite Energi dan Perdagangan Dewan Perwakilan AS, Subkomite Komunikasi dan Teknologi, "Membela Kepemimpinan Nirkabel Amerika," pada 6 (10 Maret 2023).
- 64 Matthew Marcus dan Michael Calabrese, "Studi Kasus Jaringan Sekolah dan Komunitas Mampu Menutup Kesenjangan Pekerjaan Rumah," Koalisi New America dan Schools Health Libraries Broadband (SHLB) (Agustus 2023), <https://www.shlb.org/uploads/Policy/Policy%20Research/Anchor-Nets-Case-Studies-final.pdf>.

- 65** Dewan Penasihat Teknologi FCC, “Rekomendasi kepada Komisi Komunikasi Federal Berdasarkan Pembelajaran dari CBRS,” pada 2 (Desember 2022) (“Laporan TAC”), https://www.fcc.gov/sites/default/files/recommendations_to_the_federal_communications_commission_based_on_lessons_learned_from_cb.rs.pdf.
- 66** Vernita Harris, Office of the CIO Departemen Pertahanan AS, “Kisah Sukses Berbagi Spektrum: Layanan Radio Broadband Warga,” Blog LinkedIn (14 November 2022), <https://www.linkedin.com/pulse/spectrum-sharing-success-story-citizens-broadband-radio-harris/>
- 67** Laporan TAC, supra, pada 2; lihat juga Clegg, Andrew, “Propagasi di Pita CBRS 3,5 GHz,” WInnComm 2019, tersedia di <https://winnf.memberclicks.net/assets/Proceedings/2019/TS1.3%20Clegg%20updated.pdf>.
- 68** Marshall pada 227
- 69** Laporan TAC, supra, pada 4
- 70** Marshall pada 79
- 71** Laporan TAC, supra, pada 4
- 72** Lihat Marshall pada 227. “Interferensi agregat yang diizinkan pada batas, atau interior, area layanan PAL ini adalah -80 dBm/10MHz. . . dihitung pada ketinggian di atas tanah 1,5 meter.”
- 73** Marshall pada 86. Dia menjelaskan bahwa karena LTE muncul sebagai standar de facto untuk CBRS, koordinasi SAS berfungsi sebagai pengganti yang efektif untuk fungsi kontrol LTE, memungkinkan “tingkat koordinasi antar operator jaringan” yang dia sebut sebagai “Federasi LTE.” Ibid
- 74** Cisco, Cisco Visual Networking Index: Prakiraan dan Tren, 2017– 2022, Makalan, pda 23 & gambar 22 (diperbarui 26 November 2018) (“Cisco VNI”), tersedia di <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>. Traffic perangkat seluler diperkirakan akan mencapai 6,9 GB per bulan per smartphone aktif di Amerika Utara pada akhir tahun 2017. Lihat Ericsson Mobility Report, pada 14 (Juni 2017), tersedia di <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-reportjune-2017.pdf>.
- 75** Cisco VNI, supra, pada 21. Cisco melaporkan bahwa Eropa Barat memiliki jumlah hotspot Wi-Fi tertinggi, yaitu 48 persen dari total hotspot Wi-Fi dunia pada tahun 2017, namun Asia kemungkinan akan memiliki jumlah hotspot Wi-Fi tertinggi (47 persen) pada tahun 2022. “Pendukung utama penerapan Hotspot 2.0 adalah gateway Wi-Fi berkecepatan lebih tinggi dan penerapan IEEE 802.11ac dan standar 802.11ax terbaru.” Ibid
- 76** Steve Methley & William Webb, Quotient Assocs. Ltd., Studi Kebutuhan Spektrum Wi-Fi, pada 29 (Februari 2017) (“spektrum baru antara 500 MHz dan 1 GHz akan dibutuhkan pada tahun 2025 untuk memenuhiantisipasi jam sibuk”), tersedia di <https://bit.ly/2NSC7YL>.
- 77** GSMA, Visi 2030: Wawasan Kebutuhan Spektrum Pita Menengah (Juli 2021); lihat juga CTIA, Licensed Spectrum, pada 10 (Februari 2017), tersedia di <https://api.ctia.org/docs/default-source/default-document-library/ctia-white-paper-licensed-spectrum.pdf> (“traffic nirkabel per lokasi ‘diproyeksikan tumbuh sebesar 343 persen’ – yang kesemuanya harus siap menyerap spektrum tambahan”).
- 78** Lihat Thomas K. Sawanobori & Dr. Robert Roche, “Dari Proposal hingga Penerapan: Timeline Alokasi Spektrum” (20 Juli 2015), <http://www.ctia.org/docs/default-source/default-document-library/072015-spectrum-timelines-white-paper.pdf>; Komisi Komunikasi Federal, Connecting America: The National Broadband Plan (2010), tersedia di <http://download.broadband.gov/plan/national-broadband-plan.pdf>.
- 79** Ericsson, “Outlook Akses Nirkabel Tetap: Lebih dari 300 Juta Koneksi FWA pada tahun 2028,” <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/fwa-outlook#:~:text=There%20will%20be%20more%20than,2028%2C%20reaching%20over%20300%20million>.
- 80** Cisco VNI pada 23 & gambar 22.
- 81** Marshall pada 104. Idealnya, koordinasi harus “tidak terlihat oleh para pengguna spektrum yang dibagikan.” Id. pada 82.
- 82** Dalam kasus CBRS, lokasi penerima dan frekuensi yang digunakan ditentukan dari sumber yang berbeda tergantung pada layanannya. Meskipun deteksi penggunaan radar angkatan laut akan dilaporkan oleh jaringan sensor pesisir, situs FSS dilindungi berdasarkan informasi yang dilaporkan stasiun bumi ke database lisensi publik FCC, yang diserap oleh SAS (International Bureau Application Filing and Reporting System, atau IBFS). Lihat Marshall pada 60-67.
- 83** Di AS, kedua kekuatan ini berperan ketika FCC memutuskan bagian mana dari downlink C-Band (3,7-4,2 GHz), yang saat ini didedikasikan untuk Layanan Satelit Tetap, harus diizinkan untuk mendapatkan lisensi eksklusif atau, sebagai gantinya, dibagikan dengan FSS Incumbent menggunakan sistem database koordinasi frekuensi otomatis. Hal ini dibahas lebih lanjut pada bagian 4 di bawah
- 84** Seperti dijelaskan dalam Bagian 4 di bawah, pendekatan ‘backstop’ ini telah diusulkan untuk AFC yang mengatur pembagian tanpa lisensi di pita 6 GHz, di mana koordinasi database bersifat statis dan lebih sederhana dibandingkan dalam konteks CBRS yang dinamis.

- 85** Komisi Komunikasi Federal, Menghubungkan Amerika: Rencana Broadband Nasional (2010), tersedia di <http://download.broadband.gov/plan/national-broadband-plan.pdf>. Lihat juga Marshall pada 45 (lelang tradisional “sama dengan meminta perusahaan start-up untuk terlebih dahulu membayar sebuah bangunan, membangun gedung tersebut, dan menunggu sampai selesai sebelum bisnis dapat dimulai.”).
- 86** Ibid
- 87** Lihat Konferensi Administrasi Pos dan Telekomunikasi Eropa (CEPT), Komite Komunikasi Elektronik, Laporan ECC 236 (Mei 2015) (Laporan ECC 236)
- 88** Lihat Laporan ECC 236 pada 42, yang menyatakan bahwa operator basis data dapat mengumpulkan “banyak data tentang jenis perangkat dan karakteristik penggunaannya.” Selain itu, “NRA mungkin memerlukan fungsi manajemen interferensi khusus dari database.”
- 89** Eric Fournier, “Spectrum Sharing in Europe/France,” Agence Nationale des Fréquences (ANFR), Presentasi di WinnComm 2022, pada 4 (15 Desember 2022).
- 90** Ibid.
- 91** Ibid.
- 92** Lihat Marshall pada 85-86, mengenai optimalisasi koeksistensi dan konsep “use-it-or-share-it”; Laporan ECC 236 pada 47 (menyatakan bahwa teknologi database dinamis “dapat, tanpa intervensi peraturan, menggabungkan mekanisme untuk menangani perselisihan seperti protokol yang baik.”)
- 93** Lihat WinnForum, Standard CBRS, tersedia di <https://cbrs.wirelessinnovation.org/>
- 94** Laporan ECC 236 pada 30-36. Tentu saja terdapat kemungkinan variasi dalam masing-masing opsi ini, serta pendekatan hibrida, yang dikembangkan oleh Laporan ECC 236 secara lebih terperinci daripada yang akan kami bahas di sini.
- 95** Laporan ECC 236 pada 36. Laporan ini juga menyatakan bahwa NRA dapat mencegah potensi masalah dari penyedia database yang “nakal” (tidak sah) dengan mengharuskan semua perangkat untuk disertifikasi agar dapat beroperasi dalam pita bersama “hanya dapat mengirimkan data sesuai dengan parameter yang disediakan oleh database yang ada di daftar [NRA].” Id. pada 41
- 96** Ibid.
- 97** Dynamic Spectrum Alliance, Model Peraturan dan Regulasi Penggunaan TV White Space, versi 2.0 (Desember 2017), tersedia di <http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2018/01/Model-Rules-and-Regulations-for-the-use-of-TVWS.pdf>
- 98** Lihat Open AFC Software Group, Telecom Infra Project, <https://telecominfraproject.com/open-afc/>
- 99** Lihat Marshall pada 22-27 untuk penjelasan lebih rinci mengenai pendekatan dengan menggunakan kasus terburuk FCC dalam membatasi kelangsungan akses bersama ke saluran TVWS yang kosong.
- 100** Laporan ECC 236 pada 38-39
- 101** Id. pada 37-40.
- 102** FCC, Report and Order dan Further Notice of Proposed Rulemaking, enggunaan Pita 6 GHz Tanpa Lisensi Memperluas Penggunaan Fleksibel dalam Spektrum Pita Menengah Antara 3,7 dan 24 GHz, ET Docket No. 18-295 (rel. 24 April 2020) (“Report and Order”).
- 103** Innovation, Science and Economic Development Canada (ISED), Keputusan tentang Kerangka Teknis dan Kebijakan untuk Penggunaan Bebas Lisensi pada Pita 6 GHz (Mei 2021); lihat juga ISED, Jaringan Area Lokal Radio (RLAN) yang Beroperasi di Pita 5925-7125 MHz (20 Desember 2022). FCC memutuskan untuk mempertimbangkan untuk mengotorisasi perangkat berdaya standar yang dikelola AFC di masa mendatang di U-NII-6 (6.425-6.525) dan U-NII-8 (6.875-7.125) di mana Broadcast Auxiliary Services seluler diberi otorisasi.
- 104** FCC, Office of Engineering and Technology, “OET Mengumumkan Persetujuan Bersyarat Untuk Sistem Koordinasi Frekuensi Otomatis Pita 6 GHz,” Pemberitahuan Publik, DA 22-1146, ET Docket No. 21-352 (2 November 2022), <https://www.fcc.gov/document/oet-announces-conditional-approval-6-ghz-band-afc-systems>
- 105** ISED, “Spesifikasi Sistem Koordinasi Frekuensi Otomatis (AFC) untuk Pita Frekuensi 6 GHz (5925-6875 MHz),” DBS-06 (20 Desember 2022), <https://ised-isde.canada.ca/site/spectrum-managementtelecommunications/en/devices-and-equipment/radio-equipment-standards/database-specifications-dbs/dbs-06-automated-frequency-coordination-afc-system-specifications-6-ghz-5925-6875-mhz-frequency-band>

- 106** ANATEL, Konsultasi Publik No. 79, “Sistem Koordinasi Frekuensi Otomatis (pita 5.925-7.125 GHz),” Permintaan Komentar (21 November 2022), <https://apps.anatel.gov.br/ParticipaAnatel/Home.aspx>.
- 107** Komite Komunikasi Elektronik (ECC), Laporan CEPT 75, “Laporan dari CEPT kepada Komisi Eropa sebagai Respon terhadap Mandat” (20 November 2020).
- 108** Komisi Eropa, Direktorat Jenderal Jaringan Komunikasi, Konten dan Teknologi, “Mandat kepada CEPT untuk Mempelajari Kelayakan dan Mengidentifikasi Kondisi Teknis yang Selaras untuk Sistem Akses Nirkabel Termasuk Jaringan Area Lokal Radio di Pita 5925-6425 MHz untuk Penyediaan Layanan Broadband Nirkabel,” pada 4 (19 Desember 2017), tersedia di https://www.cept.org/Documents/ecc/41497/ecc-18-047-annex_mandate-rlan-6-ghz. Wi-Fi 6E (IEEE 802.11ax) dapat mendukung pengoperasian 6 GHz dengan lancar dan mencapai throughput gigabit dengan menggabungkan saluran selebar 160 MHz. Studi industri memproyeksikan akan terjadi kekurangan lebih dari 1.000 MHz spektrum pita menengah bebas lisensi selama lima hingga sepuluh tahun ke depan. Lihat Steve Methley & William Webb, Studi Kebutuhan Spektrum Wi-Fi, Quotient Associates Ltd (Februari 2017), pada 29 (“Antara 500 MHz dan 1 GHz spektrum baru akan dibutuhkan pada tahun 2025 untuk memenuhi antisipasi jam sibuk.”), tersedia di <https://tinyurl.com/ybh94pvx> (“Wi-Fi Alliance Study”).
- 109** Kantor Komunikasi Eropa (ECC), “WS/RLAN berdaya lebih tinggi di 5945-6425 MHz,” SE45_05 Detail Item Kerja (tanggal mulai 10 Juli 2022), https://eccwp.cept.org/WI_Detail.aspx?wiid=812.
- 110** European Communications Office (ECC), “WAS/RLAN berdaya lebih tinggi di 5945-6425 MHz,” FM_58 (tanggal mulai 10 Juni 2022), https://eccwp.cept.org/WI_Detail.aspx?wiid=811.
- 111** Dmitry Akhmetov, Reza Arefi, et al., “Kebutuhan Spektrum Wi-Fi 7,” Intel White Paper (2022), <https://www.intel.com/content/dam/www/central-libraries/us/en/documents/spectrum-needs-wi-fi-7-whitepaper.pdf>.
- 112** Chuck Lukaczewski, HPE Aruba Networks, presentasi pada DSA Global Summit 2021 (Juni 2021).
- 113** Peraturan AS dan Kanada memerlukan model propagasi berikut: Untuk jarak hingga 30 meter, sistem AFC menggunakan model propagasi path loss ruang bebas; untuk lebih dari 30 meter dan hingga 1 kilometer, sistem AFC menggunakan model Wireless World Initiative New Radio fase II (WINNER II), dengan mempertimbangkan skenario propagasi yang sesuai untuk jalur perkotaan, pinggiran kota, dan pedesaan; untuk jarak lebih dari 1 kilometer, sistem AFC harus menggunakan Irregular Terrain Model (ITM) dengan konfigurasi point-to-point yang dikombinasikan dengan model clutter yang sesuai yang ditentukan dalam Rekomendasi ITU-R P.2108 untuk lingkungan perkotaan dan pinggiran kota dan dalam Rekomendasi ITU-R P.452 untuk lingkungan pedesaan. Lihat Aturan FCC 47 CFR 15.407(l)(1) (tersedia di <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-15>) dan Aturan ISED DBS-06 Issue 1 (tersedia di <https://ised-isde.canada.ca/site/spectrum-management-telecommunications/en/devices-and-equipment/radio-equipment-standards/database-specifications-dbs/dbs-06-automated-frequency-coordination-afc-system-specifications-6-ghz-5925-6875-mhz-frequency-band>).
- 114** Lihat Aturan FCC 47 CFR 15.407(k)(2) (tersedia di <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-15>) dan Aturan ISED DBS-06 Issue 1 (tersedia di <https://ised-isde.canada.ca/site/spectrum-management-telecommunications/en/devices-and-equipment/radio-equipment-standards/database-specifications-dbs/dbs-06-automated-frequency-coordination-afc-system-specifications-6-ghz-5925-6875-mhz-frequency-band>). Amerika Serikat dan Kanada telah mengadopsi aturan yang mengizinkan titik akses berdaya standar beroperasi pada EIRP sebesar 36 dBm dan dengan kepadatan spektral dengan daya maksimum (PSD) sebesar 23 dBm/MHz
- 115** NPRM 6 GHz, supra, pada ¶ 39.
- 116** Komisi Eropa, “Mandat untuk CEPT mengenai Ketentuan Teknis Penggunaan Bersama Pita Frekuensi 3,8-4,2 GHz untuk Sistem Pita Lebar Nirkabel Terrestrial yang Menyediakan Konektivitas Jaringan Area Lokal di Uni” (16 Desember 2021) (Mandat CEPT 2021), <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/radio-spectrum-cept-mandates>.
- 117** Ofcom, Laporan, “Mengaktifkan Inovasi Nirkabel melalui Lisensi Lokal,” pada 1 (25 Juli 2019), https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0033/157884/enabling-wireless-innovation-through-local-licensing.pdf.
- 118** Id. Usulan tersebut juga berlaku untuk akses bersama pada frekuensi 1781,7-1785 MHz, berpasangan dengan 1876,7-1880 MHz dan 2390-2400 MHz. 9
- 119** Ofcom, Mengaktifkan Peluang Inovasi: Akses Bersama terhadap Spektrum yang Mendukung Teknologi Seluler, Konsultasi (18 Desember 2018) (“Konsultasi Ofcom 2018”), pada 23, tersedia di https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0022/130747/Enabling-opportunities-for-innovation.pdf
- 120** Helen Hearn, Ofcom, Spectrum Director, Presentasi pada WinnCom (15 Desember 2022)
- 121** Presentasi Helen Hearn, Ofcom, supra.
- 122** Id. pada 23-25.

- 123** Id. pada 15. “Jaringan nirkabel pribadi ini dapat digunakan oleh berbagai jenis pengguna untuk berbagai tujuan, termasuk perangkat IoT. Bandwidth yang lebih besar, yang tersedia pada pita ini, akan mendukung perangkat IoT pita lebar. . . Teknologi 5G dapat mendukung komunikasi yang sangat andal dan berlatensi rendah yang mungkin diperlukan untuk beberapa keperluan industri seperti otomatisasi, kontrol, dan pemantauan nirkabel.”
- 124** Id. pada 21
- 125** Id. pada 61. Ofcom mengusulkan biaya lisensi rata-rata berdasarkan biaya sebesar £80 per 10 MHz berdasarkan pengalaman aktual dan biaya untuk mengoordinasikan sekitar 27.000 lisensi Business Radio Tech Assigned melalui proses serupa. Sekitar 40 persen dari biaya tersebut disebabkan oleh sistem IT. Biaya yang diusulkan juga akan bervariasi dari £80 hingga £800 tergantung pada ukuran saluran yang dilisensikan (mulai dari 10 hingga 100 MHz). Id. pada 62-63, 65.
- 126** Presentasi Helen Hearn, Ofcom, supra, pada 7. Lihat juga Laporan Ofcom 2019, pada 94. (“Kami mulai bekerja... untuk menilai apakah di masa depan akan tepat untuk melakukan transisi menuju akses spektrum dinamis yang didukung oleh pendekatan database otorisasi yang sepenuhnya otomatis pada pita-pita yang diuraikan dalam kerangka pembagian spektrum kami, di mana peralatan radio akan berkomunikasi secara langsung dengan database penetapan spektrum.”)
- 127** Id. pada 50, gambar 15.
- 128** Mandat CEPT 2021, supra.
- 129** Id. pada 1
- 130** Notice of Proposed Rulemaking, Perluasan Penggunaan Fleksibel Pita 3,7 hingga 4,2 GHz, Order and Notice of Proposed Rulemaking, GN Docket No. 18-122, FCC 18-91 (13 Juli 2018) (3.7 GHz NPRM).
- 131** Pada kenyataannya, sebagian besar stasiun bumi terdaftar sebenarnya menggunakan sebagian kecil pita yang berhubungan dengan satu atau lebih transponder. Misalnya, sistem Radio Publik Nasional melaporkan bahwa seluruh 475 stasiun bumi bergantung pada satu transponder yang menggunakan saluran C-Band standar 36 MHz di bagian bawah pita.
- 132** Lihat Presentasi Ex Parte Google dan Koalisi Akses Broadband kepada 26 Staf FCC, GN Docket No. 17-183 (29 Maret 2018).
- 133** Lihat NPRM 3,7 GHz pada ¶ 39.
- 134** Id. pada ¶ 124
- 135** FCC, Laporan & Perintah, “Dalam Hal Perluasan Penggunaan Fleksibel di Pita 3,7-4,2 GHz,” GN Docket No. 18-122, 35 FCC Rcd 2343 (3 Maret 2020), <https://www.fcc.gov/document/fcc-expands-flexible-use-c-band-5g-0>
- 136** FCC, Laporan & Perintah Ketiga, Memorandum Report & Order, dan Third Further Order of Proposed Rulemaking, Penggunaan Pita Spektrum Di Atas 24 GHz Untuk Layanan Radio Seluler, GN Docket No. 14-177 (rel. 8 Juni 2018).
- 137** Id., Spectrum Frontiers 3d FNPRM, pada ¶ 59
- 138** Id. pada ¶ 65
- 139** Id. pada ¶ 63
- 140** Id. pada ¶ 61, mengutip Starry, Presentasi Ex Parte kepada FCC, GN Docket No. 14-177, pada 2 (14 Juli 2017)
- 141** Memperluas Penggunaan Fleksibel Pita 12,2-12,7 GHz, Notice of Proposed Rulemaking, WT Docket No. 20-443, GN Docket No. 17-183, 36 FCC Rcd. 606 (15 Januari 2021) (“NPRM 12 GHz”).
- 142** Id. pada ¶ 54
- 143** Lihat, e.g., Linda Hardesty, “WISPA Ingin Alokasi 200 MHz untuk Menutup Kesenjangan Digital,” Fierce Wireless (24 Maret 2021), <https://www.fiercewireless.com/wireless/wispa-wants-200-mhz-allocated-to-close-digital-divide>.
- 144** Perluasan Penggunaan Pita 12,7-1325 GHz untuk Broadband Seluler atau Penggunaan Perluasan Lainnya, Notice of Inquiry and Order, GN Docket No. 22-352, FCC 22-80 (rel. 28 Oktober 2022).
- 145** Coordinated Sharing Coalition, Petition for Rulemaking, Amandemen Pasal 101 Peraturan Komisi untuk Memungkinkan Penggunaan Komersial yang Lebih Besar pada Pita 10,0-10,5 GHz (diajukan pada 4 Oktober 2022). Lihat juga Surat kepada FCC dari 250 WISP yang Mendukung Band Sharing Petition for Rulemaking 10,0-10,5 GHz (8 Desember 2022), pada 2

- 146** Vernita Harris, Office of the CIO, Departemen Pertahanan AS, "Kisah Sukses Berbagi Spektrum: Layanan Radio Broadband Warga," Blog LinkedIn (14 November 2022), <https://www.linkedin.com/pulse/spectrum-sharing-success-story-citizens-broadband-radio-harris/>
- 147** Marco Höyhty, Aarne Mämmelä, et al., "Berbagi Spektrum Berbantuan Database dalam Spektrum Satelit: Sebuah Survei," IEEE Access, Vol. 5, pada 25322 (6 November 2017).
- 148** Ibid.
- 149** Id. pada 25335.
- 150** Ibid.
- 151** Komisi Komunikasi Federal, Order and Notice of Proposed Rulemaking, Revisi Aturan Pembagian Spektrum untuk Orbit Non-Geostasioner, Sistem Layanan Satelit Tetap, IB Docket No. 21-456, RM-11855 (15 Desember 2021)
- 152** Id. pada ¶ 23.
- 153** Komentar dari Intelsat License LLC, Merevisi Aturan Pembagian Spektrum untuk Orbit Non-Geostasioner, Sistem Layanan Satelit Tetap, IB Docket No. 21-456, RM-11855, pukul 10 (25 Maret 2022).
- 154** Survei Akses IEEE, supra, pada 25338.
- 155** Lihat Marshall pada 80-81 dan 104-110 untuk ikhtisar berbagai opsi pemodelan propagasi dan interferensi
- 156** Lihat Monica Allevan, "Google dan database lain mungkin membuat berbagi-pakai spektrum menjadi lebih mudah," Fierce Wireless (12 Oktober 2017), tersedia di <https://www.fiercewireless.com/wireless/google-and-other-databases-likely-to-make-spectrum-sharing-easier>.
- 157** Marshall juga mengamati bahwa sebagian besar model propagasi yang digunakan saat ini dikembangkan untuk melakukan analisis sambungan komunikasi, yang merupakan analisis yang secara fundamental berbeda dari karakteristik pemodelan yang digunakan untuk sambungan dan interferensi. Id. pada 104-105.
- 158** Id. pada 108
- 159** Lihat Presentasi Apple, Broadcom, et al. kepada FCC, Memperluas Penggunaan Fleksibel dalam Spektrum Pita Menengah antara 3,7 dan 24 GHz, GN Docket No. 17-183, pada 9 (2 Agustus 2018).
- 160** Marshall pada 109.
- 161** Spectrum Observatory dari Illinois Institute of Technology, yang telah mengumpulkan data okupansi spektrum di Chicago secara terus-menerus selama lebih dari satu dekade, adalah contoh utama. Lihat, misalnya, Dennis Roberson, "Illinois Institute of Technology Spectrum Observatory," Presentasi pada Lokakarya WSRD #5 (31 Maret 2014), tersedia di https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/7/79/Illinois_Institute_of_Technology_-_Dennis_Roberson.pdf
- 162** Lee Pucker, "Review of Contemporary Spectrum Sensing Technologies," survei yang disiapkan untuk IEEE-SA P1900.6 Standards Group, pada 1 (2017). Memang benar, penginderaan pada awalnya dianggap oleh FCC sebagai mekanisme utama untuk menghindari interferensi pada pembagian saluran TV kosong (TVWS) tanpa lisensi, namun pada akhirnya badan tersebut memutuskan bahwa penginderaan tidak dapat cukup memproteksi "titik tersembunyi" yang tidak dapat dideteksi oleh titik akses.
- 163** Id pada 4. Lihat juga M. Höyhty et al., "Pengukuran Okupansi Spektrum: Survei dan Penggunaan Peta Interferensi," IEEE Commun. Tutorial Survei., vol. 18, no. 4 (Kuartal 4, 2016), pada 2386-2414
- 164** Dr. Paul Kolodzy, Pidato Utama pada "Lokakarya NSF tentang Infrastruktur Pengukuran Spektrum," Laporan Lokakarya, U.S. National Science Foundation (April 2016), pada 16-17. Dr. Kolodzy menjadi salah satu ketua subkomite CSMAC untuk Pengukuran dan Penegakan Spektrum.
- 165** Lihat Marshall pada 62-63 untuk penjelasan rinci.
- 166** Raied Caromi, et al., "Pembelajaran Mendalam untuk Deteksi Sinyal Radar di Pita CBRS 3,5 GHz," dipresentasikan pada konferensi Simposium Internasional IEEE tentang Jaringan Akses Spektrum Dinamis (DySPAN) 2021 (2021).

- 167** Contohnya adalah program DARPA RadioMap, yang menyediakan kemampuan “crowd sourcing” dengan menambahkan perangkat lunak ke banyak perangkat RF militer AS yang memungkinkan mereka mengamati dan melaporkan lingkungan spektral lokal. Joe Evans, DARPA, Pidato Utama, “Lokakarya NSF tentang Infrastruktur Pengukuran Spektrum,” Laporan Lokakarya, U.S. National Science Foundation, pada 18 (April 2016). “Perangkat lunak baru telah dibuat untuk membantu dalam geolokasi penghasil emisi, penentuan kekuatan medan yang dihitung untuk penghasil emisi dan interpolasi atau ekstrapolasi data ini untuk memperkirakan intensitas spektrum (dan karenanya ketersediaan spektrum untuk penggunaan bersama) di suatu lingkungan.” Evans menyatakan bahwa Korps Marinir AS sedang menguji kemampuan ini di lapangan. Ibid.
- 168** Komisi Eropa, Radio Spectrum Policy Group, “RSPG Report on Spectrum Sharing: A forward-looking survey,” RSPG21-016 Final (10 Februari 2021) (“RSPG 2021 Spectrum Sharing Survey”), pada 28-29.
- 169** Dewan Penasihat Teknologi FCC, “Rekomendasi kepada Komisi Komunikasi Federal Berdasarkan Pembelajaran dari CBRS” (Desember 2022), pada 2.
- 170** Michael DiFrancisco, Edward Drocella, Charles Cooper dan Paul Ransom “Incumbent Informing Capability (IIC) untuk Berbagi Spektrum Berbasis Waktu,” National Telecommunications and Information Administration (NTIA) – Office of Spectrum Management (22 Februari 2021), [https://www.ntia.doc.gov/report/2021/ntia-report-incumbent-informing-capability-iic-time-based-spectrum-sharing#:~:text=The%20IIC%20is%20a%20mechanism,Spectrum%20Coordination%20System%20\(SCS\).](https://www.ntia.doc.gov/report/2021/ntia-report-incumbent-informing-capability-iic-time-based-spectrum-sharing#:~:text=The%20IIC%20is%20a%20mechanism,Spectrum%20Coordination%20System%20(SCS).)
- 171** Id. pada 2-3, 7.
- 172** Spectrum Innovation Act of 2022, H.R. 7624, Kongres ke-117 (2021-22), disahkan pada 27 Juli 2022.
- 173** Office of Communications (Ofcom), Kerangka Berbagi Spektrum, Laporan, pada 28 (14 April 2016), tersedia di https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0028/68239/statement.pdf.
- 174** Id. pada 28, n. 39. “Di bawah kerangka TVWS saat ini, database memberikan informasi kepada pengguna tentang apa dan pada frekuensi apa dan pada tingkat daya apa yang dapat mereka transmisikan untuk menghindari interferensi berbahaya bagi pengguna incumbent di dalam dan di sekitar pita tersebut. Koordinasi untuk mencegah interferensi antar pengguna ruang kosong yang berbeda saat ini tidak dijamin di Inggris.”
- 175** Untuk gambaran umum yang baik tentang teknologi dan aplikasi blockchain, lihat Manav Gupta, *Blockchain for Dummies*, IBM Limited Edition (John Wiley & Sons, 2017).
- 176** Lihat Survei Berbagi Spektrum RSPG 2021, supra, pada 28-31 (membahas fungsionalitas dan kapan blockchain mungkin tidak layak atau hemat biaya).
- 177** Agence Nationale Des Fréquences, “Blockchain: Launch of the First French State Blockchain,” Website ANFR, tersedia di <https://www.anfr.fr/en/anfr/news/all-news/detail-of-the-news/actualites/blockchain/>.
- 178** Lihat Juliette Raynal, “Negara Mempersiapkan Blockchain untuk Frekuensi Gratis,” *L'Usine Digitale* (18 April 2018), tersedia di <https://www.usine-digitale.fr/article/l-etat-prepare-une-blockchain-pour-les-frequences-libres.N681954>.
- 179** “Prancis akan menguji coba blockchain untuk manajemen spektrum,” *PolicyTracker* (23 Mei 2018)
- 180** Eric Fournier, “Spectrum Sharing in Europe/France,” Agence Nationale des Fréquences (ANFR), Presentasi di WinnComm 2022, pada 2 (15 Desember 2022)
- 181** Id. pada 15.
- 182** Lihat secara umum Martin Weiss, Kevin Werbach, et al, “Penerapan Blockchain pada Manajemen Spektrum,” Konferensi Penelitian Kebijakan Telekomunikasi Tahunan ke-46 (September 2018), pada 10-12, tersedia di <https://ssrn.com/abstract=3141910>.
- 183** Lihat Khashayar Kotobi dan Sven G. Bilén, “Blockchain Aman untuk Akses Spektrum Dinamis: Database Terdesentralisasi dalam Jaringan Radio Kognitif Bergerak Meningkatkan Keamanan dan Akses Pengguna,” *Majalah IEEE Vehicular Technology* (Maret 2018)
- 184** Emanuele Di Pascale, Jasmina McMenamy, et al., “Smart Contract SLAs for Dense Small-Cell-as-a-Service” (Maret 2017), tersedia di <https://arxiv.org/pdf/1703.04502.pdf>.
- 185** Lihat “Laporan akhir: Laporan Teknis Lokakarya Peningkatan Akses ke Spektrum Radio Kedua,” National Science Foundation (20 Oktober 2015); Komite Penasihat Manajemen Spektrum Departemen Perdagangan AS (CSMAC), Laporan Teknis Subkomite Penegakan, NTIA (12 Mei 2015).
- 186** Amer Malki dan M.B.H. Weiss, “Mengotomatisasi Penegakan Ex-Post untuk Berbagi-Pakai Spektrum: Penerapan baru untuk teknologi Blockchain,” Konferensi Riset Kebijakan Telekomunikasi Tahunan ke-44 (September 2016). Lihat juga M.B.H.Weiss, W. H. Lehr, et al, “Pertimbangan sosio-teknis untuk desain sistem akses spektrum (SAS),” *Simposium Internasional IEEE Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)* 2015, pada 35-46 (September 2015).


187 Lihat Martin B.H. Weiss, Kevin Werbach, et al., “Penerapan Blockchain pada Manajemen Spektrum,” Konferensi Penelitian Kebijakan Telekomunikasi Tahunan ke-46, pada 8-9 (September 2018), tersedia di https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3141910.

188 Ibid. Penulis menyatakan bahwa overhead ini dapat mencakup kebutuhan untuk mengalokasikan saluran bagi pengguna untuk menyiarkan entri ke semua pengguna lain, karena menurut definisi tidak ada repositori atau kontrol terpusat. Survei Pembagian Spektrum Accord RSPG 2021, supra, pada 30-31

189 Survei Pembagian Spektrum RSPG 2021, supra, pada 30.

Untuk informasi lebih lanjut,
pindai kode QR di bawah ini:



 Dynamic Spectrum Alliance
3855 SW 153rd Drive
Beaverton, OR 97003
USA